



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

แผนปรับระดับอัตโนมัติ  
Automatic Tilt Stage

นายภัสดา แก้วทอง

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์



แผนปรับระดับอัตโนมัติ

Automatic Tilt Stage

นายภัสตา แก้วทอง

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายภัสดา แก้วทอง

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.เกรียงไกร สุขสุด

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ อ.ชินภัทร นันทจิวารชัย

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายดำรง สกุลศิริรักษ์

สถานประกอบการ บริษัท เอ็นเอ็กซ์พี เมนูเฟคเจอร์ริง ไทยแลนด์ จำกัด

### บทคัดย่อ

แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage) จัดทำขึ้นเพื่อสนับสนุนการทำงานของเครื่องวิเคราะห์จุดบกพร่องในวงจรรวม (Integrated Circuit Failure Analysis) ด้วยการใช้ Solid Immersion Lens (SIL) ซึ่งการทำงานของ SIL ตัวอย่าง (Sample) จำเป็นต้องสัมผัสกับ SIL และต้องมีมุมกระทำระหว่างตัวอย่างกับเลนส์ไม่เกิน 1 องศา ซึ่งโครงการนี้เป็นการออกแบบระบบอัตโนมัติ ทำให้อุปกรณ์ที่ช่วยปรับระดับตัวอย่างทำมุมกับ SIL น้อยกว่า 1 องศาได้อย่างแม่นยำ โดยแผ่นปรับระดับอัตโนมัตินี้ประกอบไปด้วยส่วน Hardware ดังนี้ ตัวแผ่นปรับระดับ (Based plate), Micrometer-head เป็นตัวปรับระดับโดยมี Stepper Motor เป็นตัวขับเคลื่อน Micrometer-head ซึ่ง Stepper Motor นั้นจะรับคำสั่งจาก Arduino ซึ่งทำงานเป็น Microcontroller ของระบบ ในส่วนของโปรแกรม (Software) ใช้ LabVIEW สร้างชุดโปรแกรมควบคุมและอินเตอร์เฟซสำหรับแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ จากการทดสอบพบว่าหากนำตัวอย่างที่เอียงมาใช้งานร่วมกับ SIL ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาจุดบกพร่องในวงจรรวม: PMOS – 1000 จะไม่ได้ผลลัพธ์จากการทำ Electro Optical Frequency Mapping (EOFM) และ ภาพที่ได้จาก Infrared (IR) inspection ที่มีคุณภาพต่ำ ไม่สามารถแยกแยะองค์ประกอบของวงจรได้ และเมื่อนำแผ่นปรับระดับอัตโนมัติมาปรับระดับขดเชยมุมของตัวอย่างที่เอียง จะพบว่า ได้ผลลัพธ์จากการทำ EOFM และได้ภาพ IR Inspection ที่มีคุณภาพดีขึ้น ทำให้สามารถแยกแยะองค์ประกอบของวงจรได้ ดังนั้นแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage) สามารถสนับสนุนการวิเคราะห์หาจุดบกพร่องในวงจรรวมด้วย SIL ได้

**Cooperative Title:** Automatic Tilt Stage

**Student intern name:** Pasada Kaewthong

**Faculty:** Engineering

**Department:** Electronics Engineering

**Advisor name:** Asst. Prof. Kriangkrai Sooksood

**Advisor name:** Chinnapat Nantajiwakornchai

**Mentor name:** Dumrong Sakulhirak

**Company:** NXP Manufacturing Thailand LTD.

## ABSTRACT

This project presents an Automatic Tilt Stage which is designed to support Failure Analysis (FA) in-circuit level of integrated circuit (IC) with Solid Immersion Lens (SIL). Standard operating procedure of SIL is touching on sample's surface with limited angle not exceed 1 degree. An automatic system has been designed in order to provide high accuracy very small angle compensation. Hardware consists of based plate, micrometer-head, stepper motors and microcontroller. Stepper motor is a micrometer-head driver which get inputs or commands from Arduino (brand of microcontroller). Software using LabVIEW programming based and user interface that provides automate system to automatic tilt stage. Based on experimental results, if we put tilt sample into PMOS-1000 with SIL, we will not get Electro Optical Frequency Mapping (EOFM). Moreover, the image that gets from Infrared (IR) inspection also results in inferior quality. FA engineer cannot identify failing component from the circuit. Once the automatic tilt stage has implemented, it gives better results on both of EOFM signals and IR images which enlarge FA fault localization capability with SIL.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมสหกิจศึกษา “แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)” ที่ได้ร่วมจัดทำกับบริษัทเอ็นเอ็กซ์พี เมนูเพคเจอรिंग ประเทศไทยจำกัด ซึ่งได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ดำเนินงานตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเป็นชิ้นงาน จากบุคคลากรของบริษัทหลายๆท่าน รวมถึงหน่วยงานอื่น ที่คอยให้การช่วยเหลือเรื่องอุปกรณ์และคำปรึกษา

ขอบคุณ คุณดำรง สกุสศิริรักษ์ ผู้นิเทศงานที่ให้ความรู้ทางด้านงานวิศวกรรม และคำแนะนำต่างๆเกี่ยวกับการทำโครงการในองค์กรเอกชน รวมถึงช่วยประสานงานกับบริษัทภายนอกจนทำให้ชิ้นงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณ คุณเทียนไชย ปฏิภาณ ที่คอยเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำตลอดการทำโครงการ รวมถึงให้แนวคิดและวิธีการทำงานของชิ้นงาน จนทำให้ชิ้นงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตรงตามแบบที่วางไว้

ขอบคุณ ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคนภายในแผนก PQC : Product Quality Center บริษัทเอ็นเอ็กซ์พี เมนูเพคเจอรिंग ประเทศไทยจำกัด ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์ เครื่องมือ และคำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ทั้งนี้ผู้จัดทำหวังว่าโครงการวิศวกรรมเล่มนี้จะมอบประโยชน์และความรู้ให้แก่ผู้อ่านที่สนใจงานเกี่ยวกับเรื่องนี้ไม่มากนักน้อย หากโครงการเล่มนี้มีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขอน้อมรับคำติชมและความผิดพลาดนั้นไว้ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการแก้ไขต่อไป และขอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ภัสดา แก้วทอง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาในการศึกษา	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1.1 Photon Emission Microscopy (PEM)	4
2.1.2 Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH)	6
2.1.3 EOP/EOFM	10
2.1.4 Solid Immersion Lens (SIL)	11
2.1.5 Stepper Motor	12
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การดำเนินการวิจัย	
3.1.1 การออกแบบตัวต้นแบบ	23
3.1.2 การจัดทำตัวต้นแบบ	26
3.1.3 การทดสอบตัวต้นแบบ	27

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.4 การปรับปรุงตัวต้นแบบ	29
3.1.5 การจัดทำตัวสำเร็จ	30
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	
4.1 การทดสอบ	31
4.2 ผลการทดสอบ	31
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	
5.1 สรุปผลการศึกษา	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของการปลดปล่อยโฟตอน	5
4.1 ขั้นตอนการทดสอบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage)	31
4.2 ผลการทดสอบการทำ EOFM ด้วย Air Gap Lens โดยไม่ใช่แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)	32
4.3 ผลการทดสอบการทำ EOFM ด้วย SIL Lens โดยไม่ใช่แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)	33
4.4 ผลการทดสอบการทำ EOFM ด้วย Air Gap Lens โดยใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)	35
4.5 ผลเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage) และไม่ใช่แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ	37

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อผ่าน P-N Junction	4
2.2 การทำงานของ OBIRCH	6
2.3 ส่วนประกอบของระบบ OBIRCH	7
2.4 ทฤษฎีของ Seebeck effects	7
2.5 Seebeck effects ใน Semiconductor	8
2.6 ตัวอย่างของ seebeck effects ของตัวต้านทานในวงจรรวม	8
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิต่างกัน	9
2.8 การขยายตัวของ particles เมื่อได้รับความร้อน	9
2.9 การทำงานของ EOP/EOFM	10
2.10 การมอดดูเลชั่นของเลเซอร์ที่ตกกระทบบริเวณ Depletion regain	10
2.11 แผนผังแสดงส่วนประกอบของ EOP : Electro Optical Probing	11
2.12 Solid Immersion Lens (SIL) เปรียบเทียบกับเลนส์ปกติ	11
2.13 ภาพตัดขวางของ Solid Immersion Lens (SIL)	11
2.14 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์	12
2.15 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปมอเตอร์แบบไฮบริด	13
2.16 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปมอเตอร์แบบไบโพลาร์	14
2.17 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์	15
2.18 ภาพจำลองการหมุนของ Unipolar Stepper Motor	19
2.19 วงจรขับ Unipolar Stepper Motor อย่างง่าย	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	22
3.2 ส่วนประกอบของตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ	23
3.3 อินเตอร์เฟสของโปรแกรมควบคุมแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ	25
3.4 Tilt stage with micro-meter assisted	25
3.5 Motor module สำหรับ Tilt Stage	26
3.6 ส่วนแทนที่ใช้สำหรับเจาะแผ่น PCB	26
3.7 ตัวต้นแบบแผ่นเอียงปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage Demo Version)	26

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.8 การทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage Demo Version)	27
3.9 การทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage Demo Version) ด้วย SIL(1)	27
3.10 การทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage Demo Version) ด้วย SIL(2)	28
3.11 การเปลี่ยนรูปแบบของ Motor Module	29
3.12 ตัวสำเร็จแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage Final Version)	30
4.1 IR Image จาก Air Gap Lens กำลังขยาย 204x กับตัวงานที่มีความลาดเอียง โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)	31
4.2 IR Image จาก SIL Lens ที่กำลังขยาย 175x กับตัวงานที่มีความลาดเอียง โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)	33
4.3 IR Image จาก SIL Lens กำลังขยาย 175x กับตัวงานที่มีความลาดเอียง โดยใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)	34
4.4 ผลจากการทำ EOP	36

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตของเรามากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นวงจรรวมในเครื่องใช้ไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น โทรศัพท์มือถือ โทรทัศน์ ตลอดจนวงจรรวมคอมพิวเตอร์ การทำงานของยานพาหนะ และเมื่อวงจรรวมเหล่านี้เกิดความเสียหายไม่ว่าจะเป็นในขั้นตอนการผลิตหรือระหว่างการใช้งาน จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบหาสาเหตุและแก้ไขข้อผิดพลาด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินของผู้ใช้งาน

บริษัท เอ็นเอ็กซ์พี (NXP) เป็นหนึ่งในผู้ผลิตวงจรรวมด้านอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องมือสื่อสารที่สำคัญ โดยมีกระบวนการผลิตตั้งแต่ การออกแบบวงจรรวม (IC Design), Fabrication, ประกอบตัวงาน(Assembly), ทดสอบตัวงาน (Test) จนถึงขายให้กับลูกค้า แผนก Failure Analysis : FA เป็นแผนกที่ตรวจสอบหาสาเหตุของความผิดพลาดของวงจรรวม (IC) ของบริษัท NXP สามารถตรวจสอบหาสาเหตุของความเสียหายตั้งแต่ การออกแบบ (Design), Fabrication, การประกอบตัวงาน (Assembly) หรือจนถึงการทำงานที่ผิดพลาดจากลูกค้าผู้ใช้งาน

การตรวจสอบหาสาเหตุของงานที่ผิดพลาดในระดับวงจรไฟฟ้า จำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วยในการค้นหาจุดที่วงจรทำงานผิดปกติ (Failure spot) ซึ่งที่แผนก Failure Analysis : FA ของ NXP Manufacturing Thailand มีเครื่อง PHEMOS – 1000 เป็นเครื่องที่ช่วยค้นหา Failure spot ในวงจรไฟฟ้าของตัวจรรวม (IC) ซึ่งภายในนั้นประกอบไปด้วยกล้องความละเอียดสูงหลายชนิด ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ SIL Lens

Solid Immersion Lens (SIL) เป็นเลนส์ความละเอียดสูงชนิดพิเศษสำหรับตรวจหา Failure spot โดยในการทำงานต้องให้ SIL Lens สัมผัสกับ DIE และมุมระหว่างตัว SIL Lens กับ DIE ต้องทำมุมกันไม่เกิน 1 องศา ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับปรับระดับตัวงานเพื่อให้มุมระหว่าง SIL Lens กับ DIE ทำมุมกันไม่เกิน 1 องศา

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ประดิษฐ์แผงปรับระดับ (Tilt Stage) สำหรับเครื่อง PHEMOS - 1000
- 1.2.2 ศึกษาการทำงาน Failure Analysis
- 1.2.3 ศึกษาการทำงานเครื่อง PHEMOS - 1000

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ออกแบบและจัดทำแผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) สำหรับเครื่อง PHEMOS – 1000 พร้อมเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของแผ่นปรับระดับด้วยโปรแกรม LabVIEW รวมถึงศึกษาการทำงาน Failure Analysis ระดับ die level และการทำงานของเครื่อง PHEMOS - 1000

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

ศึกษาการทำงาน Failure Analysis และเครื่อง PHEMOS – 1000 เพื่อให้เห็นภาพรวมและความสำคัญของการทำงาน นำไปสู่การวิเคราะห์และออกแบบ Tilt Stage ปรีกษาเรื่องการออกแบบ Tilt Stage กับผู้ใช้งานประจำเพื่อให้ได้แบบที่ดีที่สุด จัดทำ Demo Tilt Stage ทำการทดสอบกับหน้างานจริงเพื่อหาข้อผิดพลาด แก้ไขข้อผิดพลาดจาก Demo Tilt Stage นำไปสู่การออกแบบและจัดทำ Tilt Stage

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ Tilt Stage เพื่อใช้กับ SIL Lens สำหรับเครื่อง PHEMOS - 1000
2. ได้ความรู้เกี่ยวกับการทำงาน Failure Analysis
3. ได้ความรู้เกี่ยวกับเครื่อง PHEMOS – 1000 ตลอดจนทฤษฎีของเทคนิคที่ใช้หา Failure spot เช่น PEM, OBIRCH เป็นต้น
4. ได้ใช้ชีวิตการทำงานร่วมกับผู้อื่น
5. ได้ประสบการณ์ด้านการทำงาน Failure Analysis

## 1.6 ระยะเวลาในการศึกษา

ระยะเวลาในการศึกษาตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม 2561 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2561

ลำดับ	รายละเอียด	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ศึกษาหาแนวทางของ Tilt Stage																
2	กำหนดแนวทางของการทำ Tilt Stage แล้ว กำหนดสิ่งที่ต้องใช้																
3	สั่งซื้ออุปกรณ์สำหรับทำ Tilt Stage Demo Version																
4	ศึกษาการใช้งาน LabVIEW, Arduino																
5	ศึกษาการทำงาน Failure Analysis ระดับ die level																
6	เขียนโปรแกรมและ UI สำหรับ Tilt Stage Demo Version																
7	จัดทำ Tilt Stage Demo Version																
8	ทดสอบ Tilt Stage Demo Version																
9	ระบุปัญหาที่เกิดขึ้น พร้อมวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไข																
10	แก้ปัญหาจากตัว Tilt Stage																
11	ออกแบบ Tilt Stage Final Version																
12	จัดทำ Tilt stage Final Version																
13	ทดสอบการทำงาน Tilt Stage Final Version																
14	ทำ Report																

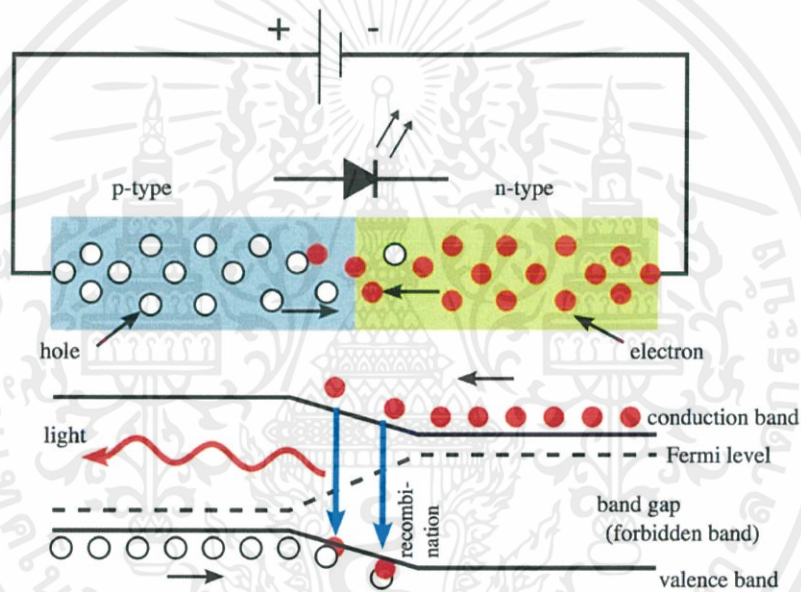
## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 Photon Emission Microscopy (PEM)

Photon Emission Microscopy (PEM) เป็นเทคนิคการหาตำแหน่งของ defect โดยการเก็บรวบรวมแสงที่ปล่อยออกมาจากการอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ การปลดปล่อยโฟตอน (Photon emission) ที่เกิดขึ้นได้ทั้ง กรณีที่เป็น defect ที่อุปกรณ์หรือจากการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เช่น Diode หรือ MOSFETs เมื่อจ่าย bias อย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.1 : การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนเมื่อผ่าน P-N Junction

เมื่อรอยต่อ PN ได้รับไบอัสที่เหมาะสม (0.6-0.7V) อิเล็กตรอนที่อยู่ใน N-Type semiconductor จะได้รับพลังงานจนสามารถข้าม Band gap เพื่อไปจับคู่กับ hole ที่อยู่ใน P-Type semiconductor และในระหว่างที่อิเล็กตรอนข้าม Band gap จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของแสง(Visible light) หรือ การปลดปล่อยโฟตอน (Photon emission )

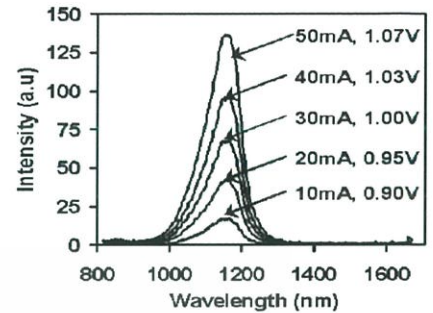
Photon emission (การปลดปล่อยโฟตอน) สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก

ตารางที่ 2.1: ประเภทของการปลดปล่อยโฟตอน

Classification	Members of class
การปลดปล่อยโฟตอนที่เกิดจาก defect	<i>Leaky junctions, contact spiking, hot-electron effects, CMOS latch-up, oxide leakages, polysilicon filaments (e.g. from ESD) and Si mechanical damage</i>
การปลดปล่อยโฟตอนที่เกิดจาก ผลของการ design หรือจาก test conditions	<i>Floating-gate transistors, saturated bipolar transistors, analog MOSFETs, and forward/reversed diodes</i>
การปลดปล่อยโฟตอนที่ไม่สามารถตรวจจับได้	<i>Buried junctions and leakage sites under metal, backside emissions where handle wafer doping to high and thick, and emissions from devices with low biasing voltage</i>
Leakage ที่ไม่เกิดการปลดปล่อยโฟตอน	<i>Ohmic shorts, shorted-metal interconnects, surface inversion, subthreshold conduction, silicon filaments (due to process defects) between devices.</i>

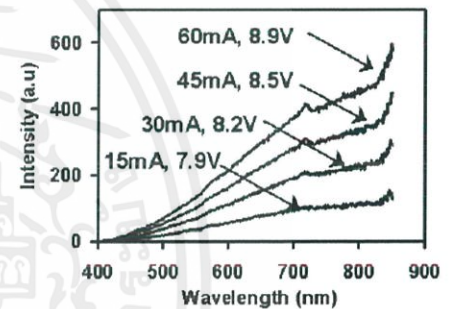
## การปล่อย emission จากการ biased p-n junctions: Forward Biased

การปล่อยโฟตอนจาก forward biased p-n junctions เกิดจากการคายพลังงานของประจุพาหะ (e-) จาก conduction band ไปยัง valence band ดังนั้นการปริมาณโฟตอนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้า ช่วงความยาวคลื่น Peak ของ photon จะอยู่ที่ Si bandgap (1.12eV หรือ 1107 nm) การปล่อยโฟตอนจะกระจายสม่ำเสมอเหมือนกันทั่วพื้นที่บริเวณรอยต่อ



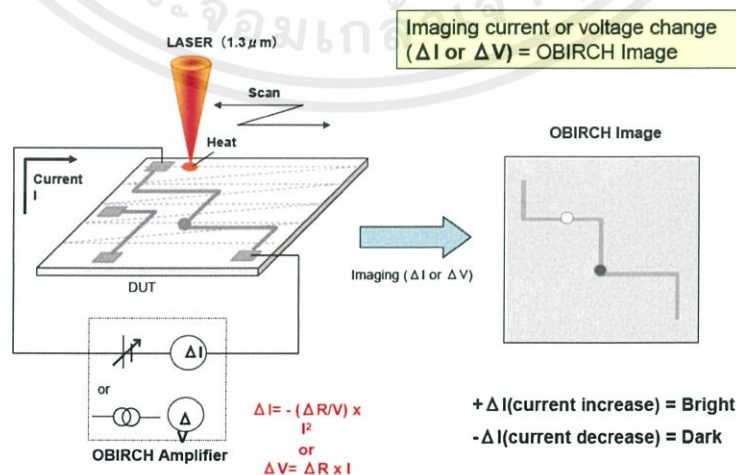
## การปล่อย emission จากการ biased p-n junctions: Reversed Biased

การปล่อยโฟตอนจาก reverse biased p-n junctions เกิดจากการรวมตัวกันของ electron-hole pair (คู่อlectron กับ hole) ที่เกิดจาก Avalanche ความเข้มของปริมาณโฟตอนจะขึ้นกับความเข้มของสนามไฟฟ้า ซึ่งสนามไฟฟ้าที่สูงขึ้นความเข้มของโฟตอนจะมากขึ้น ช่วงความยาวคลื่นของโฟตอนมีการกระจายในช่วงความยาวคลื่นแสง การกระจายแสงจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของ junction, ซึ่งตามบริเวณมุมของรอยต่อจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง ดังนั้นจึงมีแสงที่สว่างกว่า



## 2.1.2 Optical Beam Induced Resistance Change (OBIRCH)

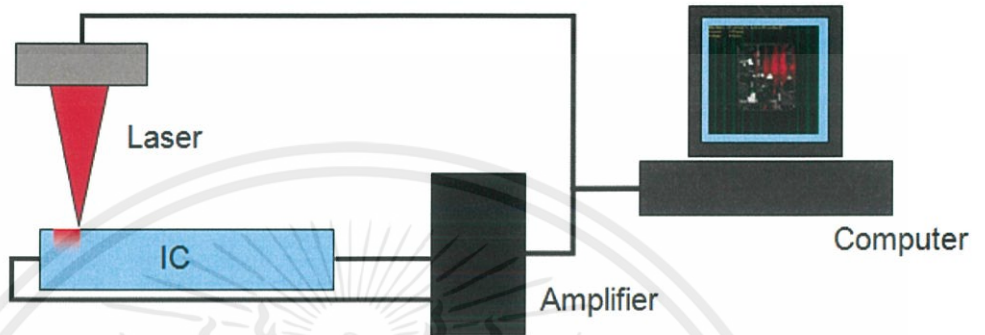
OBIRCH คือการใช้พลังงานจาก Laser เพื่อที่จะสร้างความร้อนบนหน้า die และวัดผลของความรอนนั้นผ่านทาง การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าตามทิศทางสแกน X-Y



รูปที่ 2.2 : การทำงานของ OBIRCH

ระบบของ OBIRCH ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ :

- Laser: ใช้เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับบริเวณหน้า die
- Amplifier: เพื่อวัดผลการเปลี่ยนแปลงของความร้อน
- Computer: ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างตำแหน่งการสแกนของ Laser กับสัญญาณ output ของ Amplifier



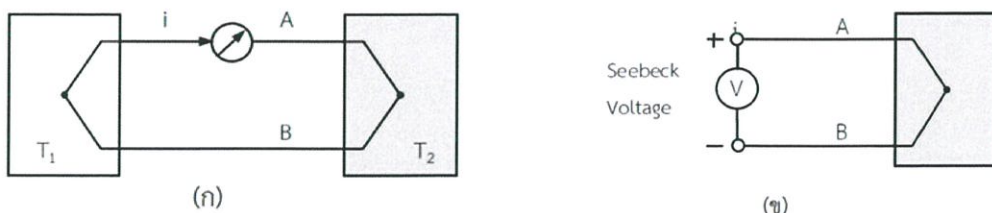
รูปที่ 2.3 : ส่วนประกอบของระบบ OBIRCH

ปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิด OBIRCH spot ประกอบไปด้วย

1. Seebeck Effect
2. Thermally Induced Device Alteration (TIDA)
3. Thermal Expansion

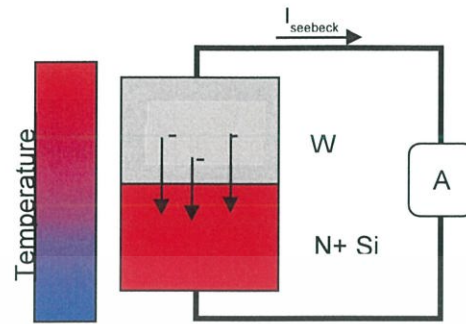
### Seebeck Effect

ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effects) เป็นปรากฏการณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล เกิดจากการนำโลหะตัวนำต่างชนิดกันสองตัว เช่น บิสมัทกับทองแดงมาเชื่อมปลายเข้าด้วยกัน แล้วให้ความร้อนที่จุดต่อด้านหนึ่ง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของเส้นลวดตั้งรูป (ก) ค่าของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง และเมื่อเป็นวงจรเปิดจะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น เรียก แรงดันซีเบค (Seebeck voltage) ดังแสดงในรูปที่ (ข)

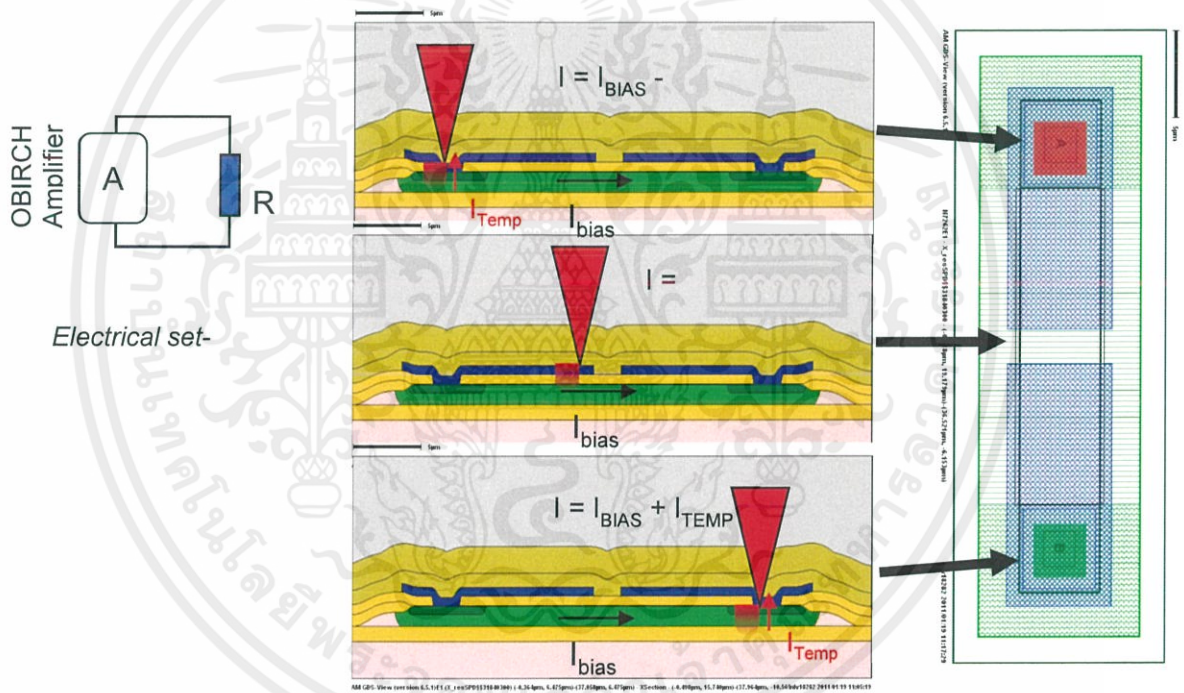


รูปที่ 2.4 : ทฤษฎีของ Seebeck effects

สำหรับอุปกรณ์ Semiconductor กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นโดยพาหะอิสระ (free carriers) ใน material ซึ่งเป็น electrons หรือ holes จะแพร่จากบริเวณที่ร้อนไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า



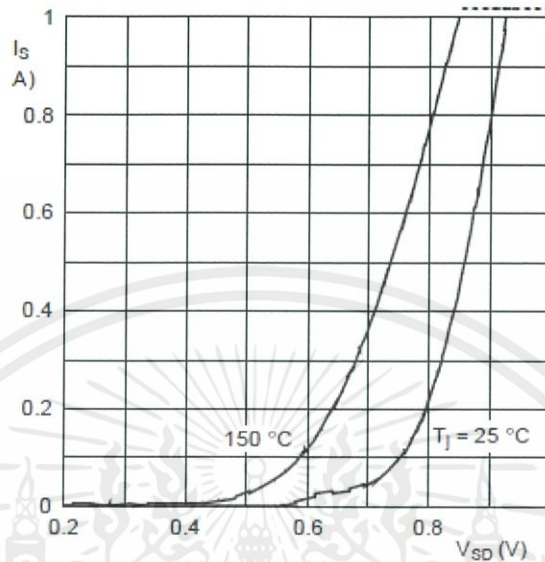
รูปที่ 2.5 : Seebeck effects ใน Semiconductor



รูปที่ 2.6 : ตัวอย่างของ seebeck effects ของตัวต้านทานในวงจรรวม

## Thermally Induced Device Alteration (TIDA)

TIDA เป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ Voltage หรือ current ของอุปกรณ์ semiconductor ในขณะที่ทำการสแกน laser บนตัวอุปกรณ์

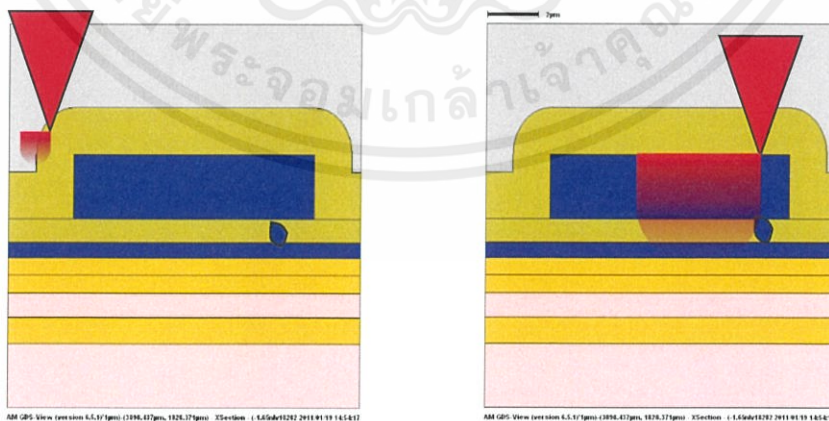


รูปที่ 2.7 : กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิต่างกัน

## Thermal Expansion

Particles and shorts เช่น IMS (Inter Metal Short) ซึ่งมีอัตราการขยายตัวทางความร้อนต่างกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าการขยายตัวแล้วทำให้จุดที่สัมผัสกันติดแน่นขึ้นจะเป็นสีแดง ในทางกลับกันถ้าการขยายตัวทำให้จุดที่สัมผัสกันมีความต้านทานลดลงจะเป็นสีแดง

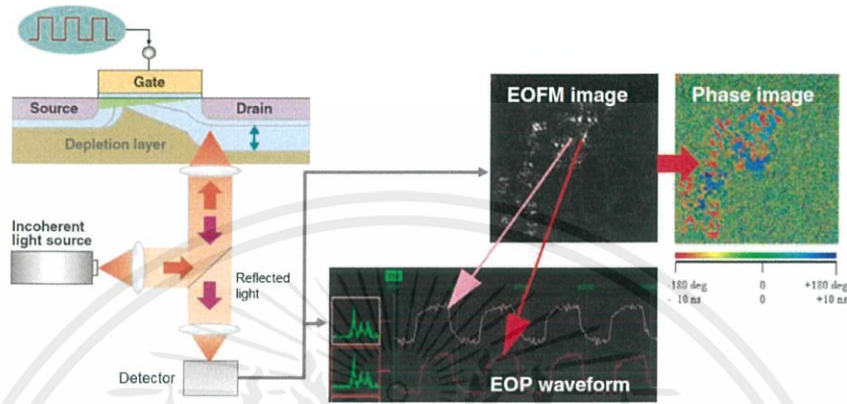
หมายเหตุ : สีของ Spot ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของผู้ใช้งาน



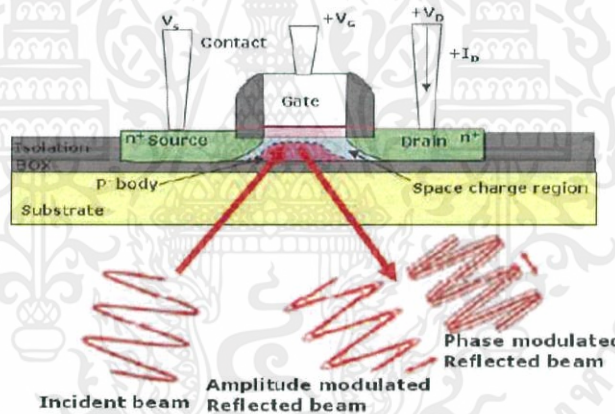
รูปที่ 2.8 : การขยายตัวของ particles เมื่อได้รับความร้อน

### 2.1.3 Electro Optical Probing(EOP)/Electro Optical Frequency Mapping(EOFM)

EOP/EOFM เป็นเครื่องมือหรือเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาข้อมูลการสวิตซ์ของตัวงาน โดยทั่วไป EOP/EOFM จะใช้สำหรับการวิเคราะห์ตัวงานจากทางด้านหลัง (Backside Silicon Substrate)

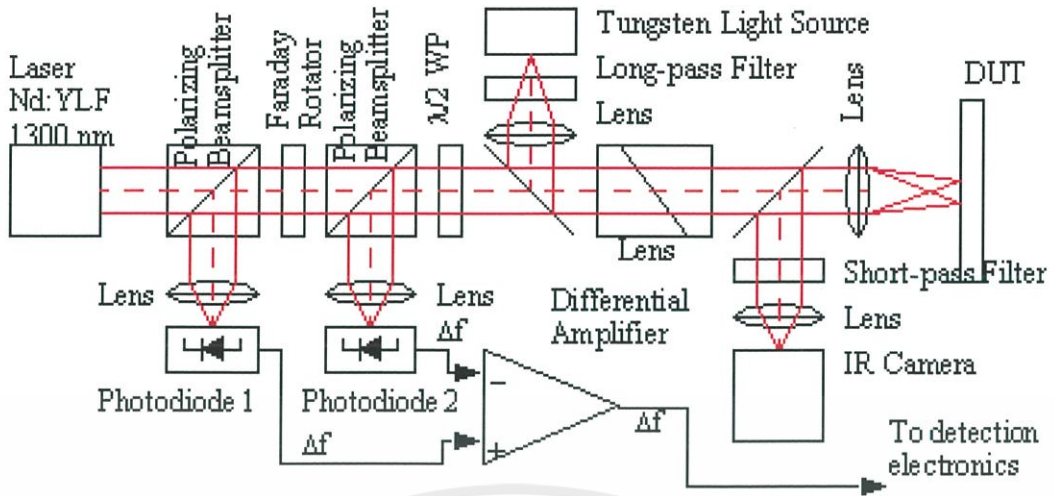


รูปที่ 2.9 : การทำงานของ EOP/EOFM



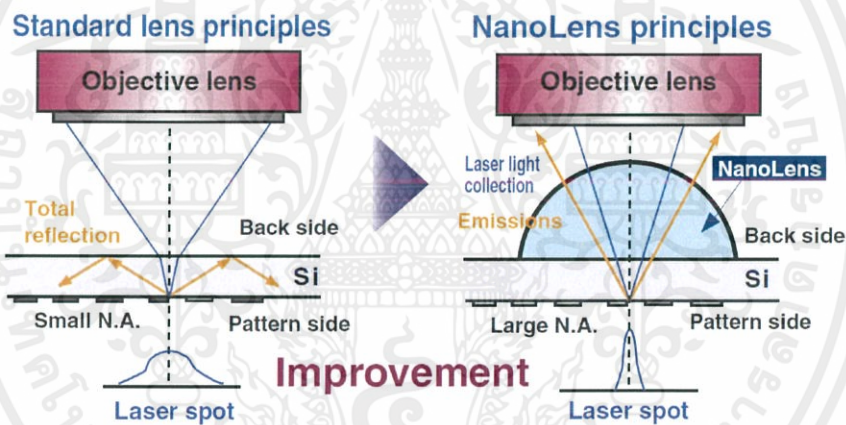
รูปที่ 2.10 : การมอดดูเลชั่นของเลเซอร์ที่ตกกระทบบริเวณ Depletion regain

การที่จะได้ข้อมูลการทำงานของทรานซิสเตอร์หรือข้อมูลการสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์ ระบบจะทำการยิงแสงอินฟราเรดหรือแสงเลเซอร์ลงไปบนบริเวณ Active area ของตัวงานที่เป็นวงจรรวมและเมื่อบริเวณนั้นมีการสวิตซ์ของสัญญาณ แสงอินฟราเรดหรือแสงเลเซอร์จะถูก Modulate ทั้ง Amplitude และ Phase กับสัญญาณสวิตซ์ ซึ่งจากนั้นสัญญาณที่ถูก Modulate ก็จะถูกส่งไปยัง Detector แล้วแปลงข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นสัญญาณภาพ

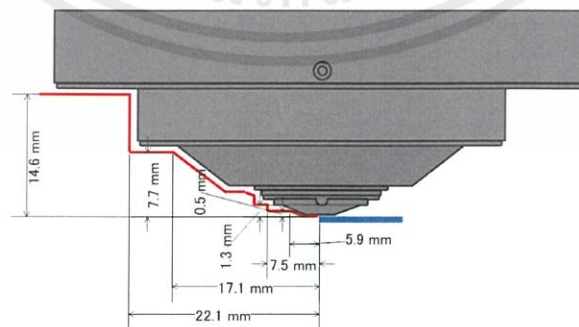


รูปที่ 2.11 : แผนผังแสดงส่วนประกอบของ EOP : Electro Optical Probing

### 2.1.4 Solid Immersion Lens (SIL)



รูปที่ 2.12 : Solid Immersion Lens (SIL) เปรียบเทียบกับเลนส์ปกติ



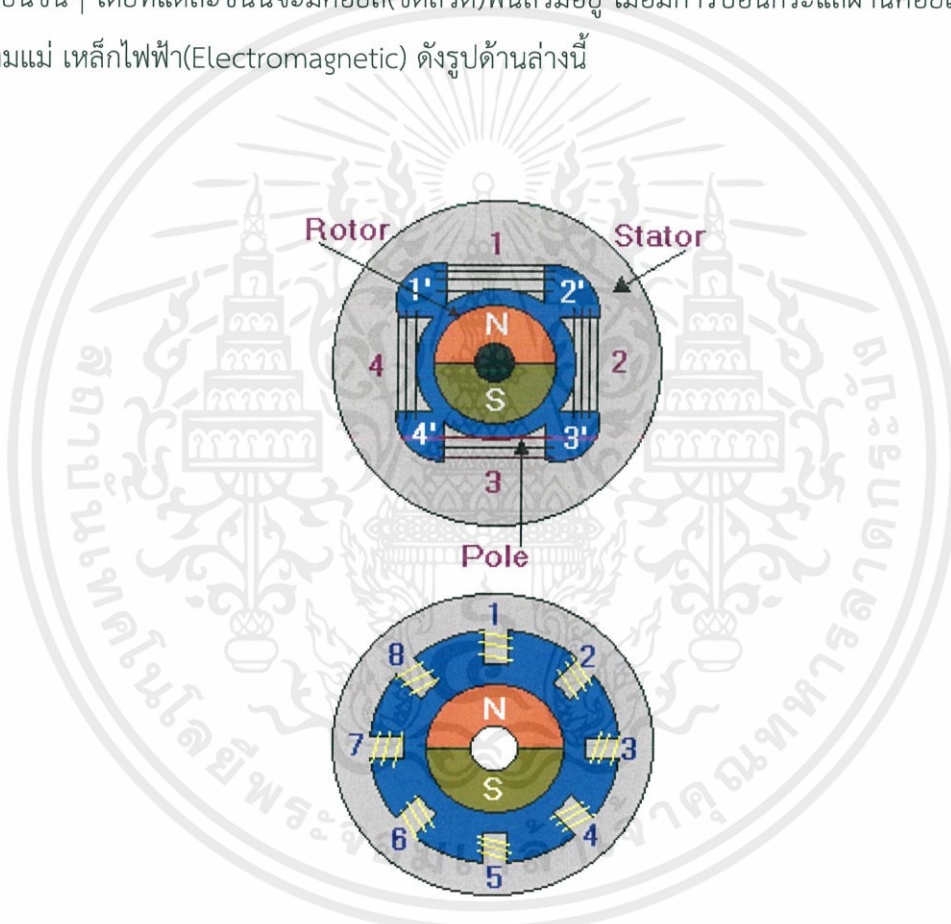
รูปที่ 2.13 : ภาพตัดขวางของ Solid Immersion Lens (SIL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.5 Stepper Motor

Step Motor เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อเราป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่าง จากมอเตอร์ ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าข้อดีของสเต็ปมอเตอร์ สามารถกำหนด ตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข(องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียดโดย ใช้คอมพิวเตอร์หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น เครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข

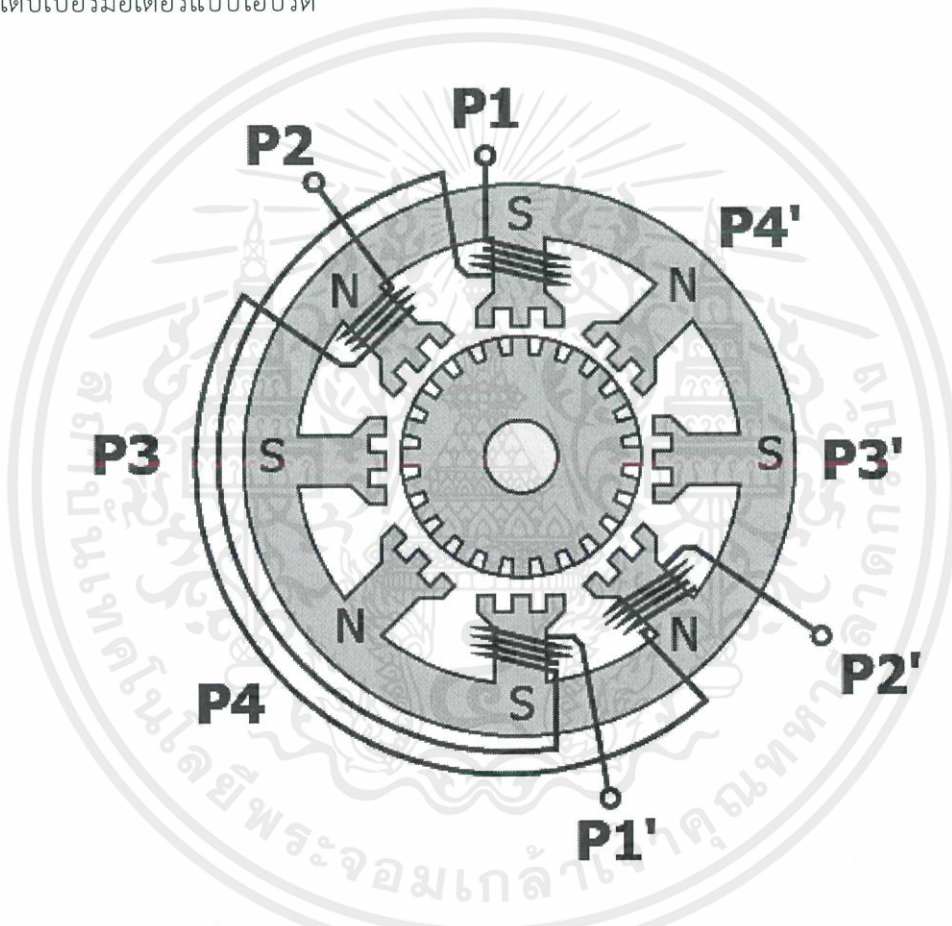
โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมาประกบกันเป็นชั้นๆ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะมีคอยล์(ขดลวด)พันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic) ดังรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 2.14 : โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์

## ชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

ในอดีตมีการแบ่งชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ตามลักษณะโครงสร้างซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ แบบแม่เหล็กถาวรหรือ PM (Permanent Magnet), แบบปรับค่าความต้านทานแม่เหล็กได้หรือ VR (Variable Reluctance) และแบบผสมหรือไฮบริด (Hybrid) ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างแบบ PM และ VR ในปัจจุบันนี้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบไฮบริด เนื่องจากสามารถทำให้มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ของแกนได้สูงถึง 0.9 องศาต่อสเต็ป (ซึ่งเป็นข้อดีของแบบ VR) และให้แรงบิดหรือทอร์กที่สูง โดยใช้พลังงานต่ำ (เป็นข้อดีของแบบ PM) ในรูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

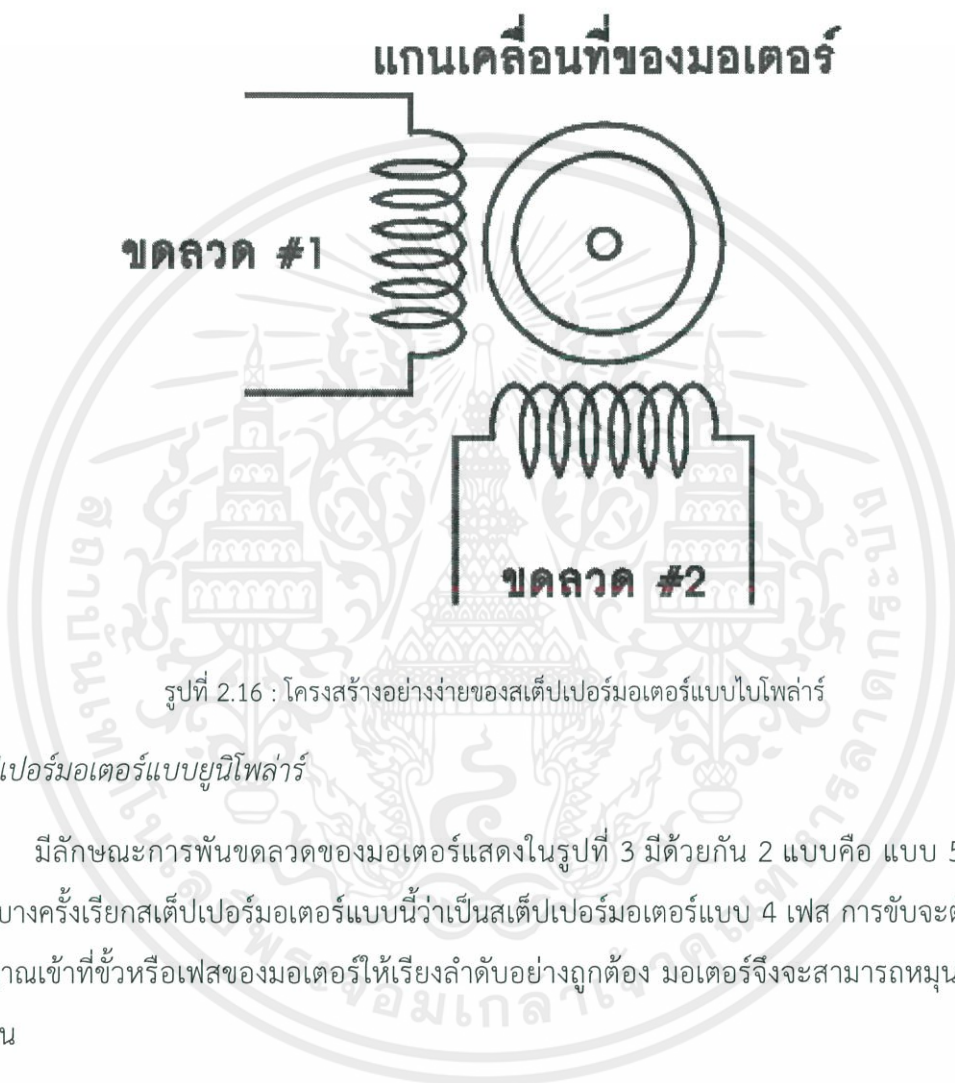


รูปที่ 2.15 : โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

ดังนั้นการกำหนดชนิดของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ในยุคต่อมาจนถึงปัจจุบันจึงพิจารณาที่ลักษณะของการฟันขดลวด, การต่อสายออกมาใช้งาน และวงจรขับ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือ ชนิดไบโพลาร์ (bipolar) และชนิดยูนิโพลาร์ (uni-polar)

## สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไปโพลาร์

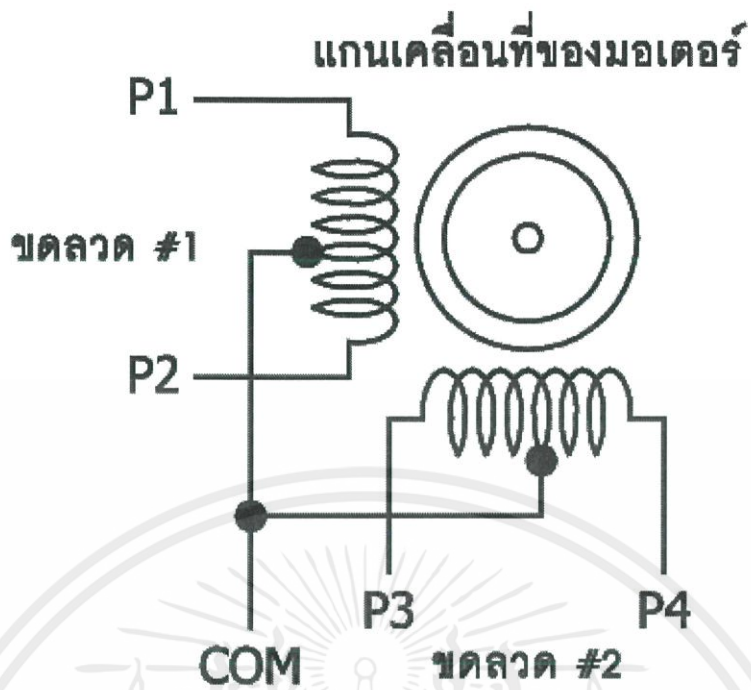
มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 2 แบ่งออกเป็น 2 ขดที่ไม่มีแท่งกลาง ทำให้บางครั้งจึงเรียกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่า เป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 2 เฟส การขับให้มอเตอร์แบบนี้หมุนจะต้องป้อนแรงดันต่างขั้วกันให้แก่ขดลวดแต่ละขด ทำให้วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ค่อนข้างซับซ้อน



## สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูปที่ 3 มีด้วยกัน 2 แบบคือ แบบ 5 และ 6 สาย บางครั้งเรียกสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้ว่าเป็นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบ 4 เฟส การขับจะต้องป้อนสัญญาณเข้าที่ขั้วหรือเฟสของมอเตอร์ให้เรียงลำดับอย่างถูกต้อง มอเตอร์จึงจะสามารถหมุนได้อย่างราบรื่น

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งตัวจะมี 4 เฟสคือ เฟส 1, 2, 3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สาย ถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว สำหรับในบทความนี้จะเน้นหนักไปที่สเต็ปเปอร์แบบยูนิโพลาร์นี้ เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายกว่า และใช้วงจรขับที่มีความซับซ้อนน้อยกว่ามาก



รูปที่ 2.17 : โครงสร้างอย่างง่ายของสตีปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

ขนาดของสตีปเปอร์มอเตอร์มาตรฐาน

เพื่อให้การเลือกใช้งานสตีปเปอร์มอเตอร์เป็นสากลจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานขนาดของสตีปเปอร์มอเตอร์ขึ้น ภายใต้ข้อตกลงร่วมกันของสมาคมผู้ผลิตชิ้นส่วนทางไฟฟ้าแห่งชาติหรือ NEMA (National Electrical Manufacturer's Association) ได้ทำการกำหนดขนาดมาตรฐานของสตีปเปอร์มอเตอร์ออกมา โดยแบ่งตามลักษณะรูปร่างของสตีปเปอร์มอเตอร์ดังนี้

1. รูปลูกบาศก์ (Cube) มีด้วยกัน 4 ขนาดคือ NEMA 14, 15, 16 และ 17

รูปร่าง	NEMA	ขนาดด้านหน้า (นิ้ว)	ระยะห่างของรูยึด (นิ้ว)
	14	1.38	1.024
	15	1.57	1.220
	16	1.57	1.220
	17	1.65	1.220

**ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญ :**

- เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหมุน 0.197 นิ้ว
- เส้นผ่านศูนย์กลางของร่องแกน 0.866 นิ้ว
- จำนวนสเต็ปต่อรอบ 200 หรือ 400 (1.8 องศา/สเต็ป หรือ 0.9 องศา/สเต็ป)

2. ทรงกระบอก (Cylinder) มีขนาดเดียวคือ NEMA 23



รูปร่าง

**ข้อมูลทางเทคนิคที่สำคัญ :**

- เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหมุน 0.25 นิ้ว
- เส้นผ่านศูนย์กลางของร่องแกน 1.5 นิ้ว
- จำนวนสเต็ปต่อรอบ 200 สเต็ป (1.8 องศา/สเต็ป)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังมอเตอร์ 2.2 นิ้ว

3. ทรงกระป๋องซ้อน (Stack can) สเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีรูปร่างแบบนี้จะมีขนาดที่ไม่แน่นอน แต่ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กคือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว



รูปร่าง

**ข้อมูลทางเทคนิคที่ควรทราบ :**

- เส้นผ่านศูนย์กลางของแกนหมุนมีหลายขนาด
- ไม่มีร่องแกน
- จำนวนสเต็ปต่อรอบ 24 หรือ 48 สเต็ป (15 องศา/สเต็ป หรือ 7.5 องศา/สเต็ป)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวถังมอเตอร์มีหลายขนาดจนถึงประมาณ 2.2 นิ้ว
- ที่ปลายของแกนหมุนมักจะติดตั้งเฟืองเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนต่อ

## การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีควเอนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบเวฟ (wave) หรือแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส (full step 1-phase), แบบฟูลสเต็ป 2 เฟส และแบบครึ่งสเต็ป (half step)

### การกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบเวฟหรือฟูลสเต็ป 1 เฟส

เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขดที่ 1, 2, 3, 4 แล้ววนกลับมาขดที่ 1 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มที่ขดที่ 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4, 3, 2 แล้วกลับมาขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางของการหมุนสวนกัน ในการกระตุ้นรูปแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบนี้มีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

### การกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 2 เฟส

เป็นการกระตุ้นซึ่งคล้ายกับแบบฟูลสเต็ปหนึ่งเฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส ดังตัวอย่าง ขดลวดขดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดที่ 1 และ 2 ตามด้วยการกระตุ้นขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขดที่ 1 และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้ หรือเริ่มที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ 3 ถัดไปเป็นขดที่ 3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 2 และ 1 แล้ววนกลับมาที่ขดที่ 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะสวนทางกัน การกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบฟูลสเต็ป 1 เฟส โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และเคลื่อนที่ต่อไปด้วยแรงดึงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือการกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่าง ๆ แสดงดังในตาราง

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

#### การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ปหรือฮาล์ฟสเต็ป

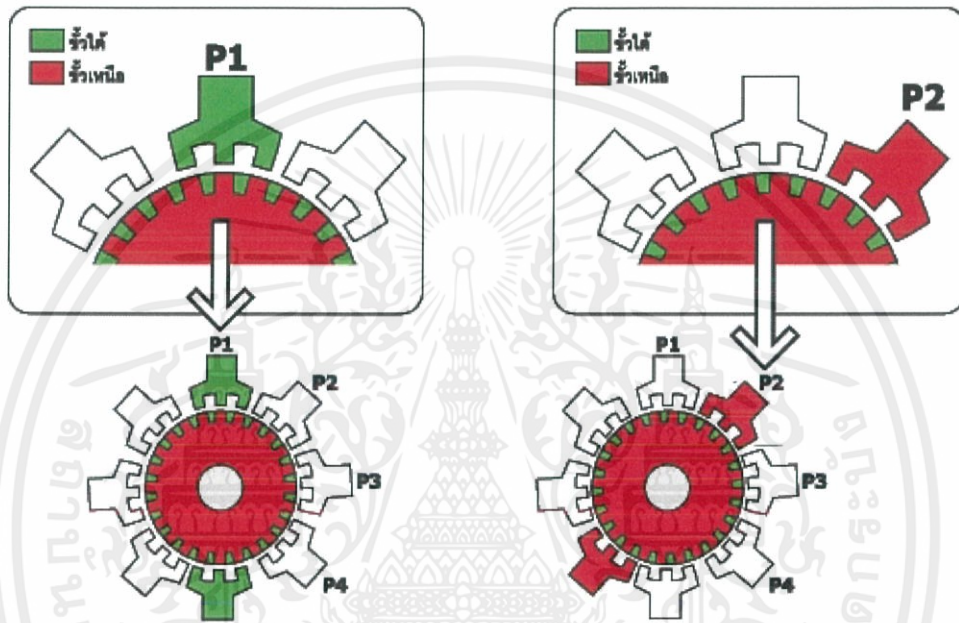
เป็นรูปแบบที่ผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบฟูลสเต็ป 1 และ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1, 1 และ 2, 2, 2 และ 3, 3, 3 และ 4, 4, 4 และ 1 แล้ววนกลับมายังขดลวดที่ 1

แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับระยะเท่ากับ 1 สเต็ปเต็มของการควบคุมใน 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องใช้ขนาดเท่ากับแบบ 2 เฟสเป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆ

สเต็ปที่	ขดลวดที่ 1	ขดลวดที่ 2	ขดลวดที่ 3	ขดลวดที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

## การทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริด

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบไฮบริดมีแม่เหล็กถาวรที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีซี่หัวเหินและได้สลักกันตามแนวของทรงกระบอกทำหน้าที่เป็นส่วนของโรเตอร์ ขดลวดทั้ง 4 เฟสที่พันรอบแกนเหล็กทำหน้าที่เป็นสเตเตอร์ที่มีซี่แม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณกระตุ้นที่ส่งเข้าไปในตัวมอเตอร์ทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักกับโรเตอร์ทำให้แกนของมอเตอร์เกิดการหมุนและล็อกตำแหน่งได้ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ



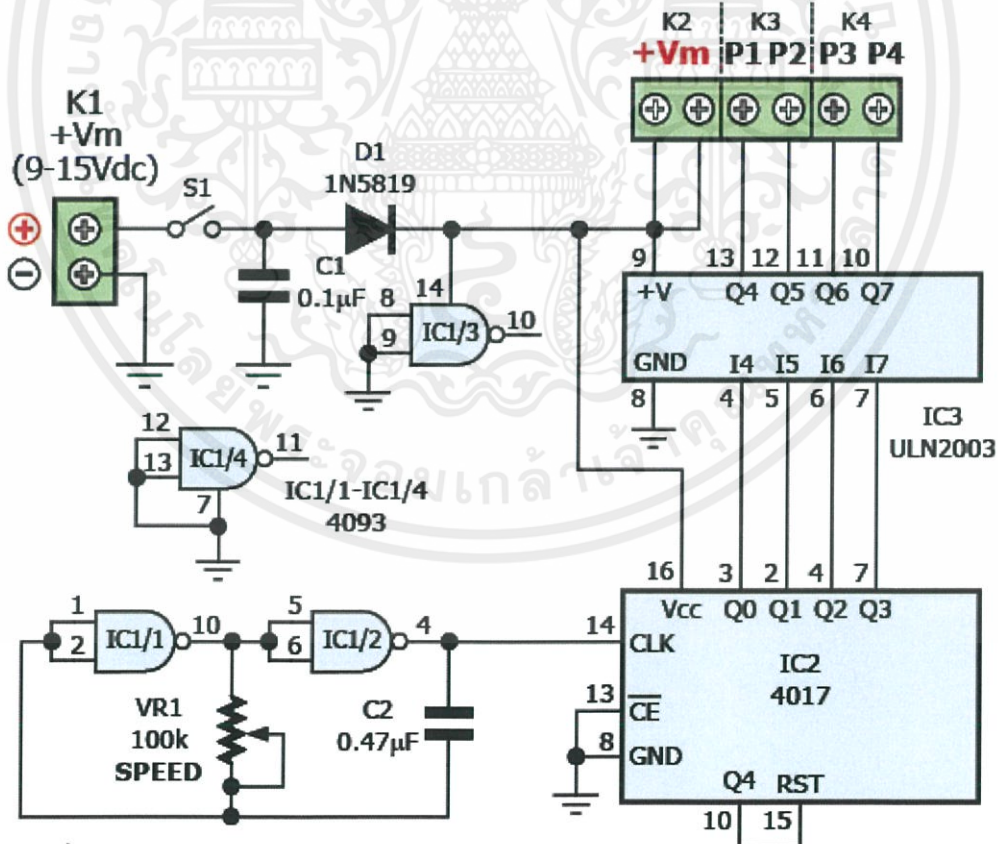
รูปที่ 2.18 : ภาพจำลองการหมุนของ Unipolar Stepper Motor

ในรูปที่ 2.18 แสดงภาพจำลองของการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่มีความละเอียด 15 องศาต่อสเต็ป นั่นคือ มีจำนวนสเต็ปของการหมุนครบรอบเท่ากับ 24 สเต็ปได้ โดยใช้การขับแบบพูลสเต็ป 1 เฟส เมื่อป้อนสัญญาณพัลส์กระตุ้นเข้าที่เฟส P1 ทำให้เกิดซี่แม่เหล็กใต้ขึ้น จึงเกิดแรงผลักซี่แม่เหล็กใต้ของเพื่อให้พบกับซี่แม่เหล็กเหนือของโรเตอร์ ในจังหวะนั้นเองแกนหมุนของมอเตอร์จะเกิดการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไป 1 สเต็ป เมื่อซี่แม่เหล็กใต้ของสเตเตอร์พบกับซี่แม่เหล็กเหนือของโรเตอร์จะเกิดแรงแม่เหล็กดูดกัน ทำให้แกนหมุนหยุดนิ่ง ถ้าสังเกตต่อไปที่ซี่ของสเตเตอร์ของขดลวดในเฟสที่เหลือจะพบว่ามันเหลื่อมกัน ทำให้แรงแม่เหล็กเกิดการหักล้างกัน จากนั้นป้อนสัญญาณเข้าที่เฟส P2 ทำให้เกิดซี่แม่เหล็กเหนือขึ้นที่สเตเตอร์นั้น ทำให้เกิดแรงผลักอีก 1 จังหวะส่งผลให้แกนหมุนของมอเตอร์เคลื่อนที่ต่อเนื่องไปอีก 1 สเต็ป เมื่อซี่แม่เหล็กเหนือของสเตเตอร์พบกับซี่แม่เหล็กใต้ของโรเตอร์จะเกิดแรงแม่เหล็กดูดกัน ทำให้แกนหมุนหยุดนิ่ง และจะเป็นเช่นนี้ไปตลอดหากมีการป้อนสัญญาณกระตุ้นไล่ตามลำดับมายัง P3 และ P4 แล้ววนกลับไป P1 อีก แกน

หมุนของมอเตอร์ก็จะเกิดการเคลื่อนที่เปลี่ยนมุมไปอย่างต่อเนื่องจนครบ 1 เมื่อเคลื่อนที่ครบ 24 สเต็ปหากสเต็ปเปอร์มอเตอร์มีความละเอียดของการหมุนมากขึ้น เช่น 7.5 องศาต่อสเต็ป จำนวนสเต็ปที่ต้องการใน 1 รอบจะเพิ่มเป็น 48 สเต็ป และสูงถึง 200 สเต็ปหากมอเตอร์มีความละเอียด 1.8 องศาต่อสเต็ป

วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์อย่างง่าย

จากการทำงานที่อธิบายมา เราสามารถใช้วงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้หลายแบบ โดยมีหลักการที่ตรงกันคือ ป้อนสัญญาณกระตุ้นอย่างเป็นลำดับที่ถูกต้องแก่ขั้วหรือเฟสของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ และถ้าหากต้องการให้มอเตอร์หมุนเร็วหรือช้าให้ทำการกำหนดหรือปรับแต่งที่ความถี่ของสัญญาณกระตุ้นที่ใช้ขับมอเตอร์ในรูปที่ 8 แสดงวงจรขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์อย่างง่าย แบบพูลสเต็ป 1 เฟสที่ไม่ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพียงมีวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ซึ่งในวงจรใช้ไอซีเบอร์ 4093 (อาจใช้เบอร์ 4011 แทนได้) ส่งสัญญาณไปยังวงจรจัดการลำดับของสัญญาณกระตุ้นซึ่งในวงจรใช้ไอซีเบอร์ 4017 เข้ามาจัดการเพื่อให้มีการส่งสัญญาณกระตุ้นไปยังมอเตอร์ที่ละเฟส ส่วนวงจรขับจริงๆ ใช้ไอซีขับโหลดกระแสสูงเบอร์ ULN2003



รูปที่ 2.19 : วงจรขับ Unipolar Stepper Motor อย่างง่าย

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

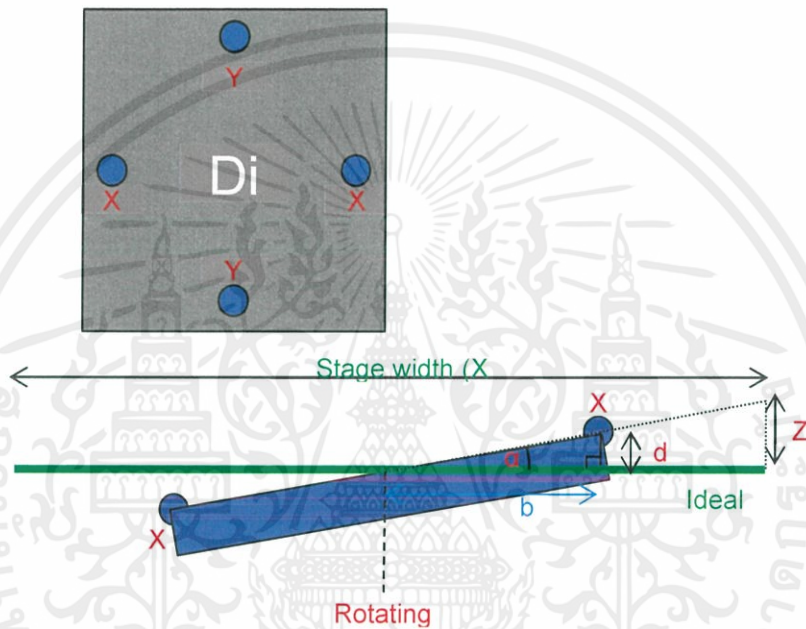
Tilt stage with micro-meter assisted

Mr. Thianchai Phianpan, Engineer, PQC Bangkok, NXP

Objectives

- To create a trial version of tilt stage for SIL lens.

Calculation



$$\sin \alpha = dX / [(X2 - X1) / 2] \leftarrow \text{Inner triangle}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \{dX / [(X2 - X1) / 2]\} \rightarrow (1)$$

ZXn is measured Z of Xn from PHEMOS software

$$\tan \alpha = Zx / (X \text{ width}/2) \leftarrow \text{Outer triangle}$$

$$Zx = (X \text{ width}/2) \tan \alpha$$

Replace  $\alpha$  with (1)

$$Zx = (X \text{ width}/2) \tan \sin^{-1} \{dX / [(X2 - X1) / 2]\}$$

	Logical	Physical
Xn	x	15645.00
	y	-16325.50
ZXn	z	-3631.90

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อการออกแบบ ประกอบสร้าง ทดสอบและพัฒนาแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage) สำหรับการทำงานร่วมกับ Solid Immersion Lens (SIL) ในเครื่อง PHEMOS – 1000 จำเป็นต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูง เนื่องจากเครื่อง PHEMOS – 1000 เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับ Failure Analysis ซึ่งมีผู้ใช้งานในทุกๆวัน หากการทดสอบหรือการทำงานของแผ่นปรับระดับส่งผลทำให้เครื่องทำงานผิดปกติ อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของแผนก Failure Analysis ได้ ดังนั้นการขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาควรมีการจัดทำตัวต้นแบบเพื่อศึกษาความเป็นไปได้และผลกระทบต่อการทำงานของ PHEMOS – 1000 เพื่อให้แน่ใจว่าแผ่นปรับระดับสามารถทำงานร่วมกับ SIL Lens ได้และส่งผลกระทบต่อการทำงานของ PHEMOS – 1000 น้อยที่สุด

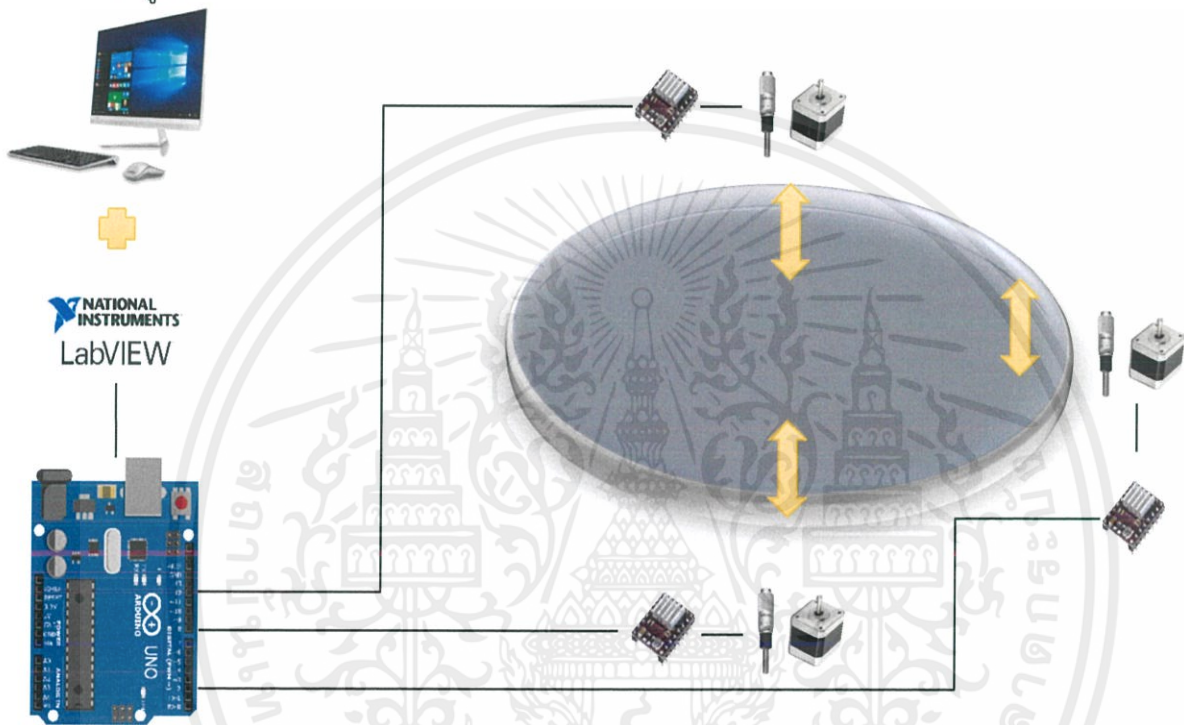


รูปที่ 3.1 : ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

### 3.1 การดำเนินการวิจัย

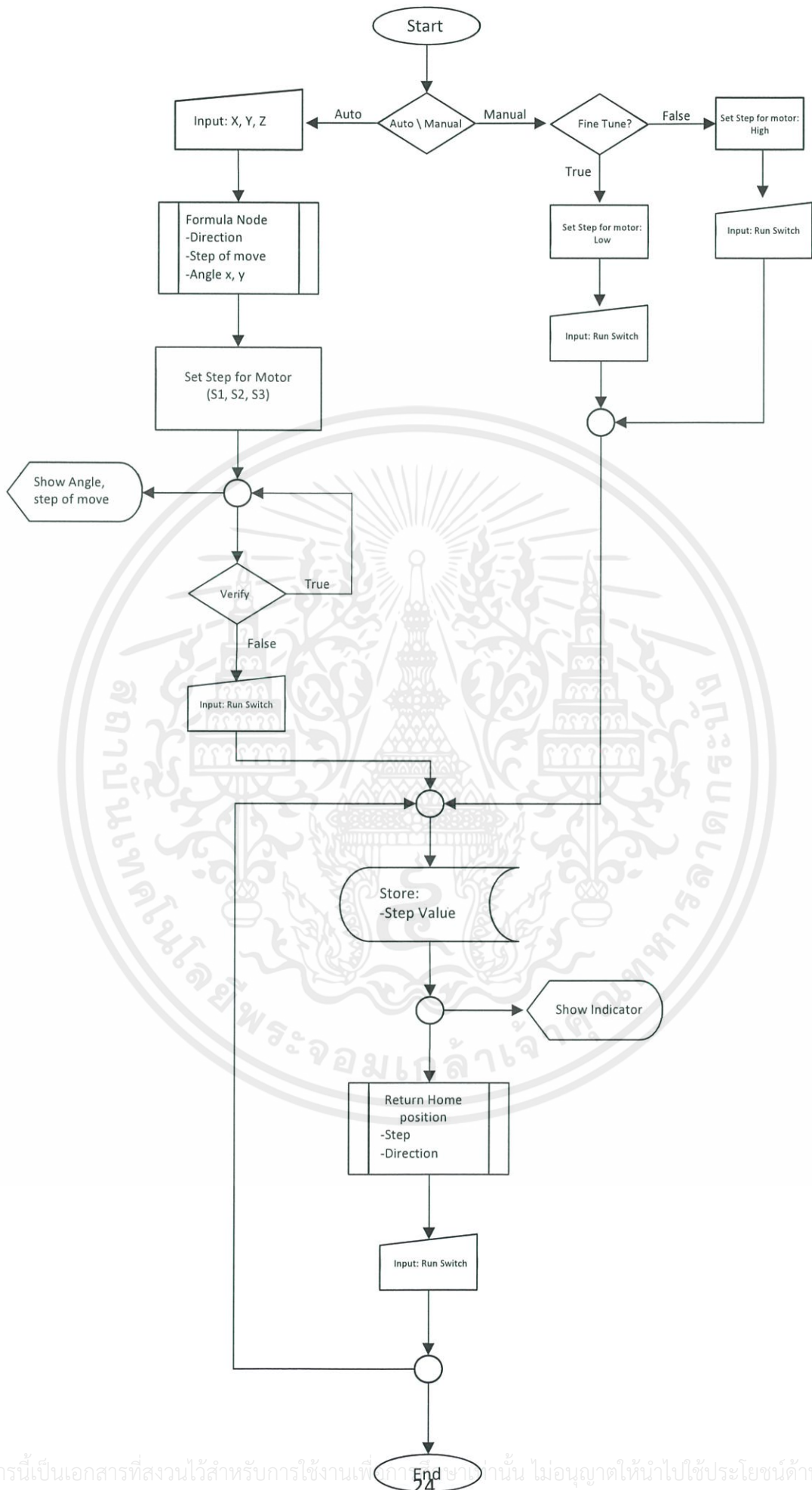
#### 3.1.1 การออกแบบตัวต้นแบบ

การออกแบบตัวต้นแบบของแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo version) เป็นการนำงานวิจัยของเดิมที่มีอยู่แล้วมาปรับปรุงต่อยอดด้วยการนำ Stepper motor มาขับ Micrometer Head ซึ่งเป็นตัวที่ใช้ปรับระดับของแผ่นเอียงและควบคุมด้วย Microcontroller ดังรูป

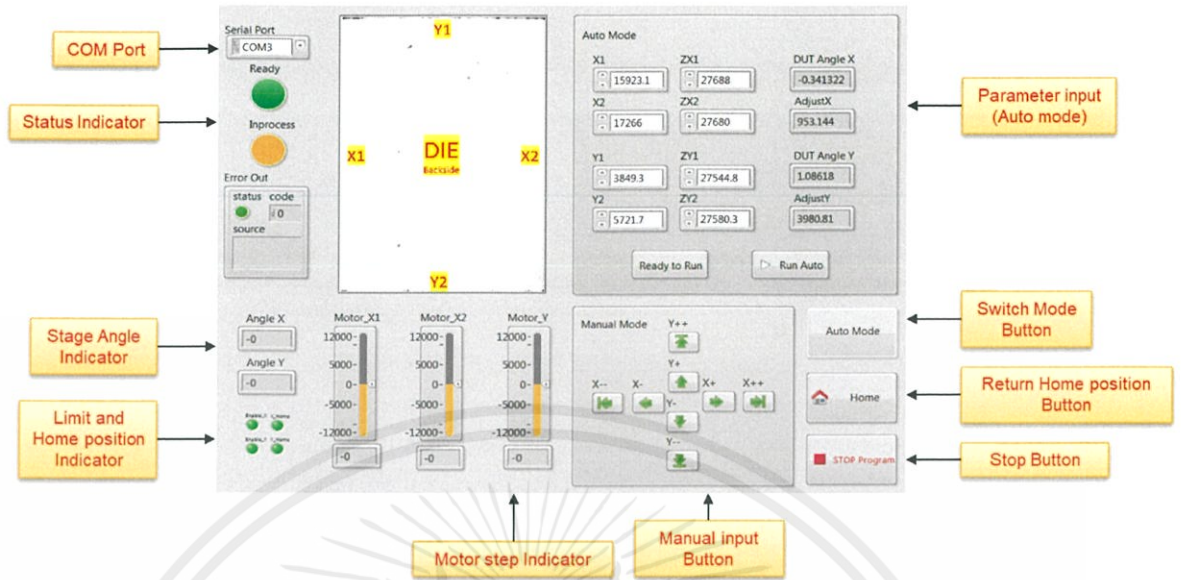


รูปที่ 3.2 : ส่วนประกอบของตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ

จากรูปจะเห็นว่าการทำงานของตัวต้นแบบแผ่นเอียงปรับระดับถูกควบคุมด้วย Microcontroller ซึ่งจะรับคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่านโปรแกรม LabVIEW โดย LabVIEW เป็น Software ที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมคำสั่งไปยังอุปกรณ์ต่างๆด้วย LabVIEW ซึ่งมีการทำงานเบื้องต้นดังนี้

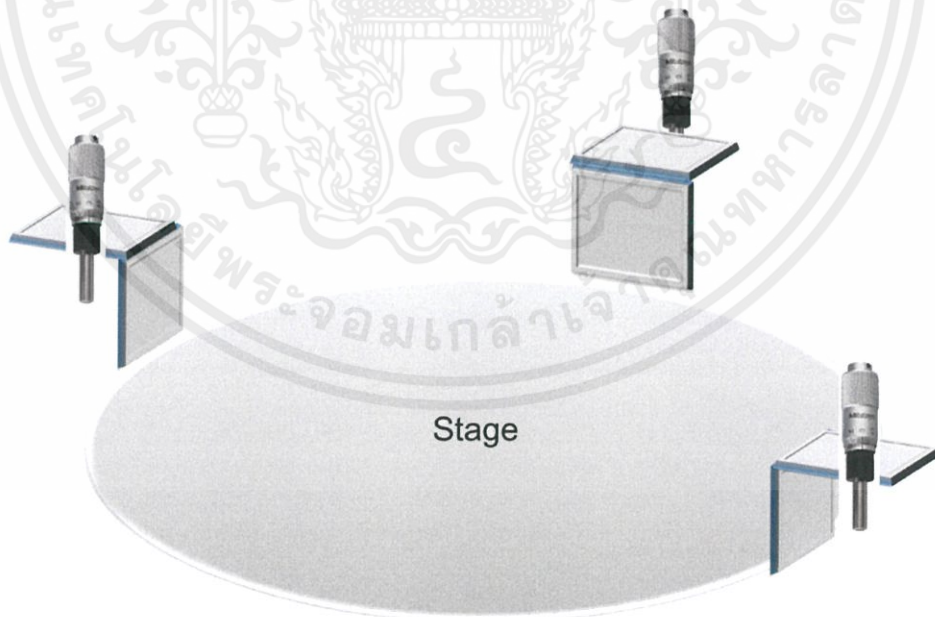


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ **เอกภพวิทยา** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 : อินเทอร์เฟซของโปรแกรมควบคุมแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ

ในส่วนของตัวแผ่นปรับระดับ ใช้ Stage จาก FA project : Tilt stage with micro-meter assisted และทำการสร้างส่วนของตัวปรับระดับขึ้นมาใหม่ โดยใช้ Stepper motor เป็นตัวขับ Micrometer Head ซึ่งส่วนของตัวปรับระดับขึ้นใหม่นี้(Motor module) สามารถใช้ร่วมกับ Stage ที่มีอยู่ได้



รูปที่ 3.4 : Tilt stage with micro-meter assisted



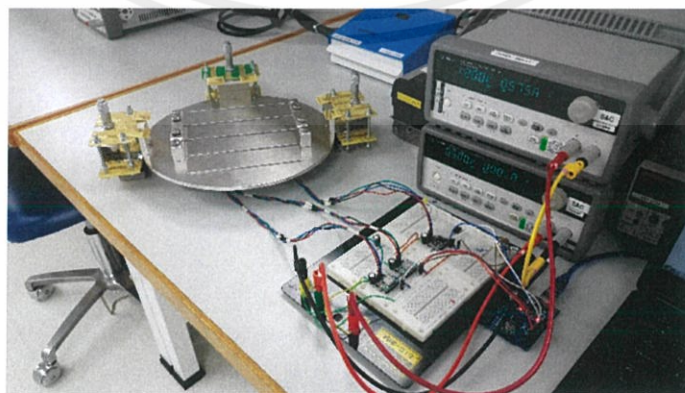
รูปที่ 3.5 : Motor module สำหรับ Tilt Stage

### 3.1.2 การจัดทำตัวต้นแบบ

การจัดทำตัวต้นแบบโดยวัสดุและอุปกรณ์ภายใน PQC : FA and Reliability เช่น ส่วนแทน DC power supply เป็นต้น และสำหรับประกอบแทนมอเตอร์ใช้วัสดุที่เหลืออยู่ภายใน PQC เช่น แผ่น PCB ที่เหลือใช้จากการ Test ใน Reliability เป็นต้น โดยที่อุปกรณ์เฉพาะบางอย่าง เช่น Stepper motor, Arduino ได้ทำการสั่งซื้อผ่านระบบของบริษัท



รูปที่ 3.6 : ส่วนแทนที่ใช้สำหรับเจาะแผ่น PCB

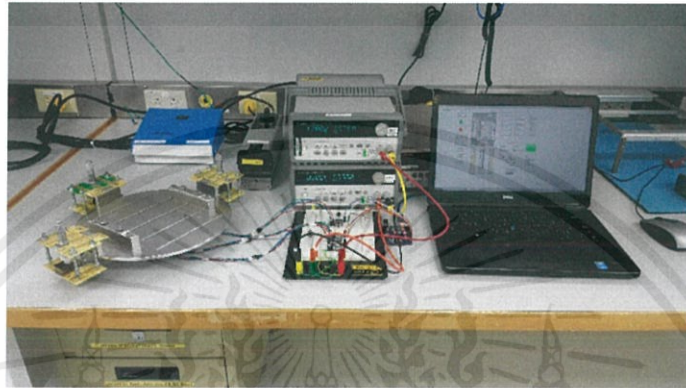


รูปที่ 3.7 : ตัวต้นแบบแผ่นเอียงปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo Version)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 การทดสอบตัวต้นแบบ

การทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo Version) โดยการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่ Stepper motor driver จากนั้นป้อนคำสั่งจาก Arduino เพื่อทดสอบการทำงาน



รูปที่ 3.8 : การทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo Version)

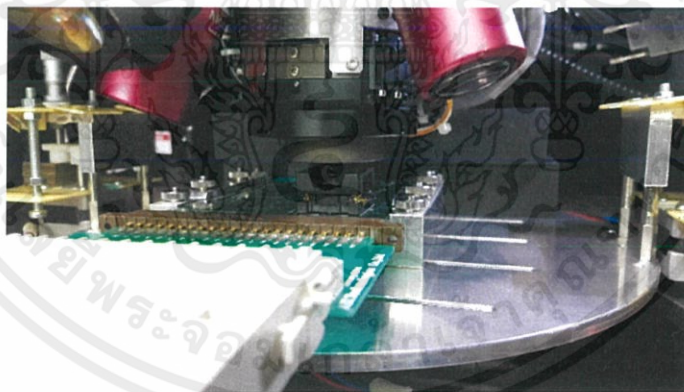
เมื่อการทดสอบการทำงานของตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับ มาทำการทดสอบด้วยการทำ EOP/EOFM ผ่าน SIL Lens เพื่อให้แน่ใจว่าแนวความคิดในการทำแผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) ในครั้งนี้สามารถทำงานได้



รูปที่ 3.9 : การทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo Version) ด้วย SIL(1)

## วิธีทดสอบ

1. เตรียม Sample ที่ไม่ได้ระนาบ
  - a. ทำการขัด Backside เพื่อลดความหนาของ Die ให้เหลือความหนาประมาณ 100 – 150 um
  - b. ทำการ wire bond กับ package ที่เตรียมไว้ โดยให้ด้านหลังของ Die อยู่ด้านบนของ package (Bottom up)
2. นำ Sample มาทำ EOP/EOFM
  - a. นำ Sample ใส่ลงใน socket
  - b. ทำการตรวจสอบ Contact ของ Sample ว่าต่อกับ Socket หรือไม่
  - c. เช็ทความถี่/การทำงาน/เงื่อนไขที่ต้องการวัดให้กับตัวงาน และจ่ายสัญญาณอ้างอิงให้กับ EOFM
3. รัน EOP/EOFM ด้วย SIL Lens บน Sample ที่เตรียมไว้
4. บันทึกผล
5. รัน EOP/EOFM ด้วย SIL Lens บน Sample ที่เตรียมไว้ โดยใช้ Tilt Stage
6. บันทึกผล
7. เปรียบเทียบผลการทดสอบ



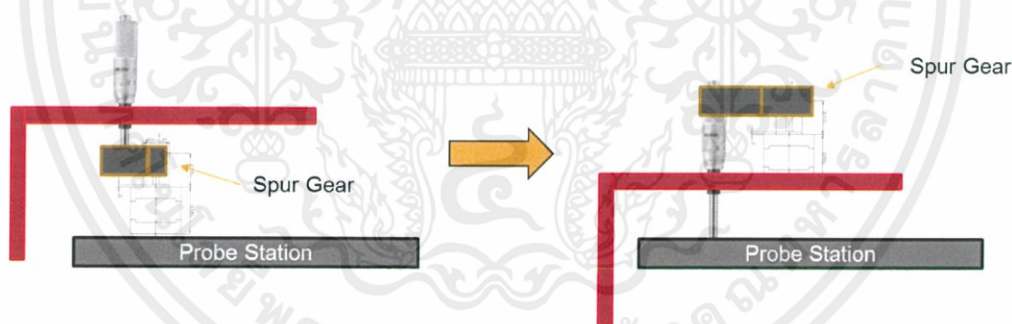
รูปที่ 3.10 : การทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo Version) ด้วย SIL(2)

### 3.1.4 การปรับปรุงตัวต้นแบบ

การปรับปรุงตัวต้นแบบเป็นการนำเอาข้อบกพร่อง ข้อผิดพลาดจากการทดสอบมาแก้ไขแล้วทำการออกแบบใหม่เพื่อให้ได้แผ่นเอียงปรับระดับที่สมบูรณ์ที่สุด โดยข้อบกพร่องที่พบจากการทดสอบตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo Version) มีดังนี้

1. ตัว Motor module ที่ประกอบขึ้นจากแผ่น PCB ดูไม่แน่นหนา
2. เมื่อวาง Tilt Stage ลงไปในเครื่อง Hamamatsu PHEMOS – 1000 แล้วทำให้ระยะในการทำงาน (Working Distance) ของตัวเลนส์(ทั้ง Air Gap Lens และ SIL Lens)ลดลง ทำให้ตัวเลนส์มีโอกาสสูงที่จะชนเข้ากับ Tilt Stage

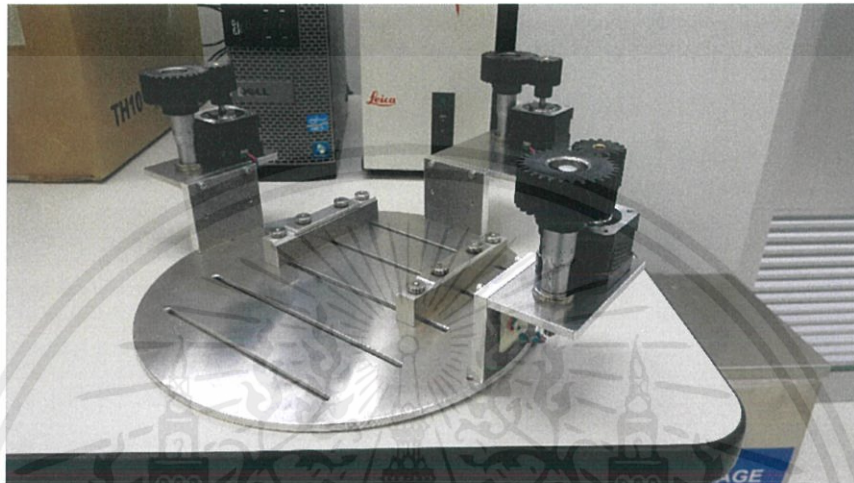
ดังนั้นสำหรับตัวสำเร็จของแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Final Version) จำเป็นต้องได้รับการออกแบบให้เพื่อให้ดูแน่นหนา และเพิ่มระยะการทำงานของเลนส์ภายในเครื่อง PHEMOS – 1000 โดยทำการเปลี่ยนรูปแบบการวาง Stepper motor จากเดิมที่อยู่ด้านล่างของ Micrometer Head ย้ายมาด้านบน ข้างกับ Micrometer Head ซึ่งช่วยเพิ่มระยะการทำงานของตัวเลนส์ภายในเครื่อง PHEMOS – 1000 ดังรูป



รูปที่ 3.11 : การเปลี่ยนรูปแบบของ Motor Module

### 3.1.5 การจัดทำตัวสำเร็จ

การจัดทำตัวสำเร็จเพื่อลดจุดบกพร่องของตัวต้นแบบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Demo Version) เช่น ชั้นส่วนบางชั้นที่ดูไม่แน่นอน ระยะเวลาการทำงานของ SIL Lens ที่น้อย เป็นต้นเพื่อให้ตัวสำเร็จของแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Final Version) ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด



รูปที่ 3.12 : ตัวสำเร็จแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage Final Version)

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบ

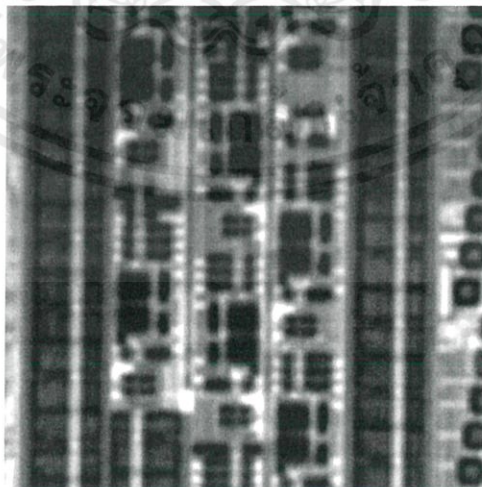
การทดสอบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage) ถูกออกแบบให้เห็นความแตกต่างระหว่างการใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติและไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ ด้วยการทำให้ IR Inspection และ EOP/EOFM กับตัวงานที่มีความลาดเอียงโดยที่มีผลจากการทำให้ IR Inspection และ EOP/EOFM ด้วย Air gap Lens เป็นข้อมูลอ้างอิง ซึ่งการทำสอบมีดังนี้

ตารางที่ 4.1 : ขั้นตอนการทำสอบแผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

ลำดับ	Air Gap Lens	SIL Lens	
	ไม่ใช้ Tilt Stage	ไม่ใช้ Tilt Stage	ใช้ Tilt Stage
1	✘		
2		✘	
3			✘

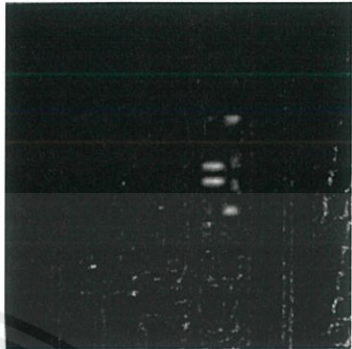
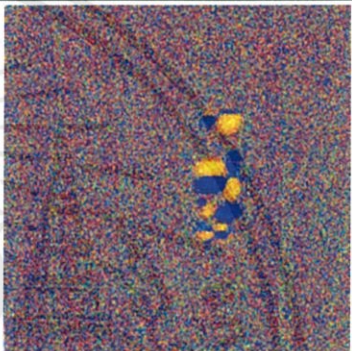

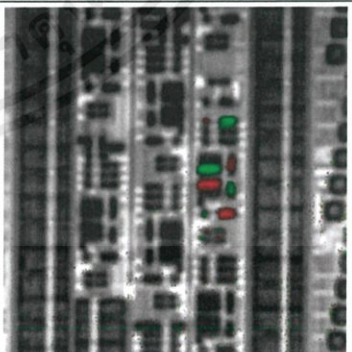
#### 4.2 ผลการทดสอบ

4.2.1 ผลจากการทดสอบการทำ EOFM ด้วย Air Gap Lens โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage)

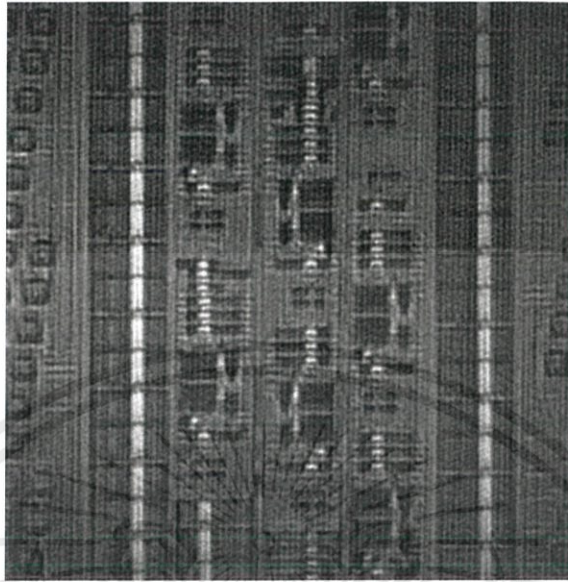


รูปที่ 4.1 : IR Image จาก Air Gap Lens กำลังขยาย 204x กับตัวงานที่มีความลาดเอียง โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

ตารางที่ 4.2 : ผลการทดสอบการทำ EOFM ด้วย Air Gap Lens โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

ผลการทดสอบจาก EOFM	
Amplitude Image	
Phase Image	
QI Image (Amplitude + Phase)	
SuperImpose Image (QI + IR Image)	


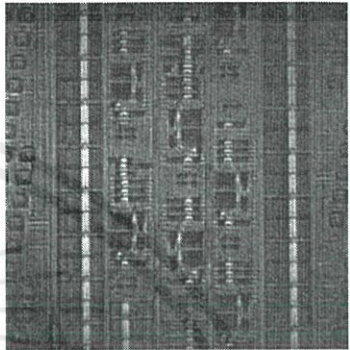
4.2.2 ผลจากการทดสอบการทำ EOFM ด้วย SIL Lens โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage)



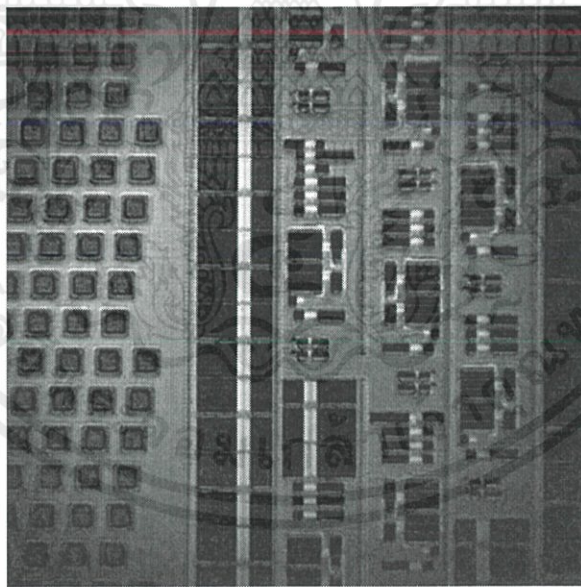
รูปที่ 4.2 : IR Image จาก SIL Lens ที่กำลังขยาย 175x กับตัวงานที่มีความลาดเอียง โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

ตารางที่ 4.3 : ผลการทดสอบการทำ EOFM ด้วย SIL Lens โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

ผลการทดสอบจาก EOFM	
Amplitude Image	
Phase Image	


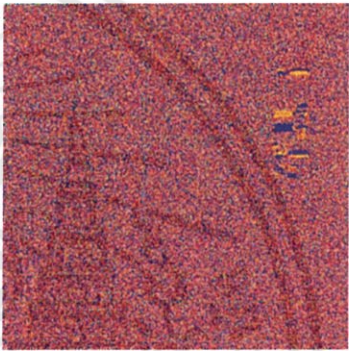

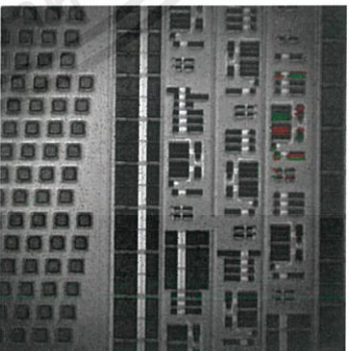
<p>QI Image (Amplitude + Phase)</p>	
<p>SuperImpose Image (QI + IR Image)</p>	

#### 4.2.3 ผลจากการทดสอบการทำ EOFM ด้วย SIL Lens โดยใช้แผ่นปรับระดับ (Tilt Stage)

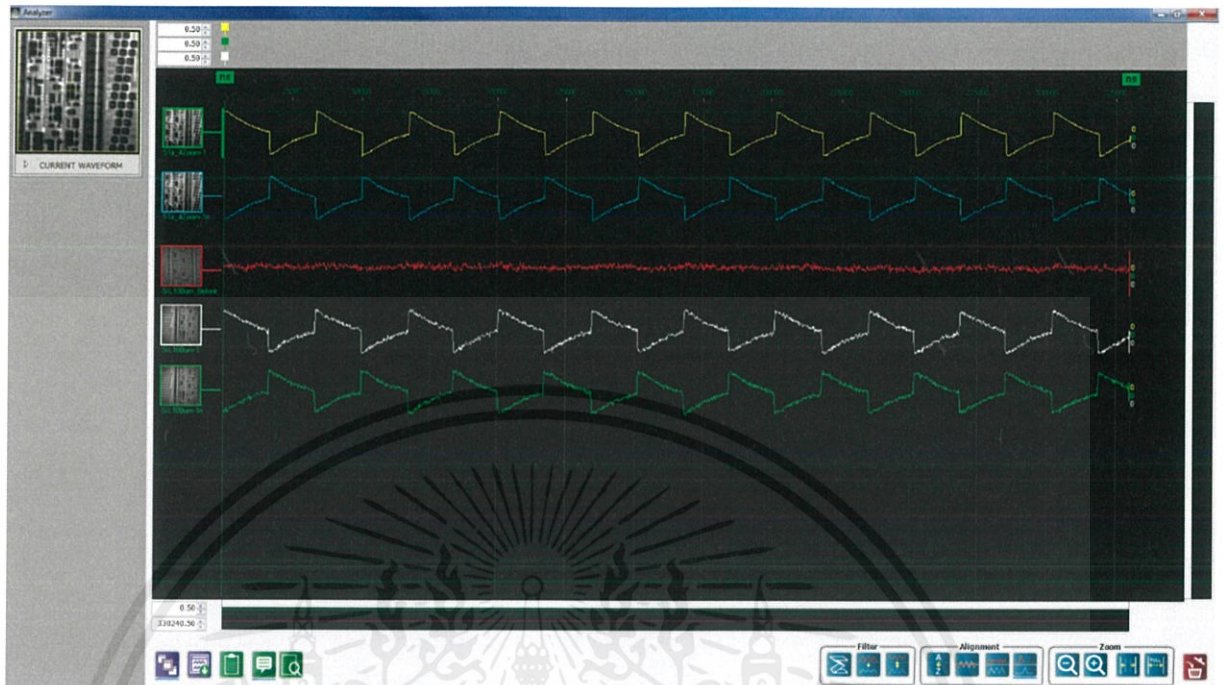


รูปที่ 4.3 : IR Image จาก SIL Lens กำลังขยาย 175x กับตัวงานที่มีความลาดเอียง โดยใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

ตารางที่ 4.4 : ผลการทดสอบการทำ EOFM ด้วย Air Gap Lens โดยใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

ผลการทดสอบจาก EOFM	
Amplitude Image	
Phase Image	
QI Image (Amplitude + Phase)	
SuperImpose Image (QI + IR Image)	

## 4.2.4 ผลการทดสอบด้วยเทคนิค EOP



รูปที่ 4.4 : ผลจากการทำ EOP

- สัญญาณที่ได้จาก Component ที่กำลังทำงานบนตัวงานที่มีความลาดเอียง ด้วย Air Gap Lens
- สัญญาณที่ได้จาก Component ที่กำลังทำงานบนตัวงานที่มีความลาดเอียง ด้วย SIL Lens โดยไม่ใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)
- สัญญาณที่ได้จาก Component ที่กำลังทำงานบนตัวงานที่มีความลาดเอียง ด้วย SIL Lens โดยใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ(Automatic Tilt Stage)

หมายเหตุ : สัญญาณระหว่าง  และ  ,  และ  เป็นสัญญาณที่ได้จาก component ที่ทำงานกลับเฟสกัน

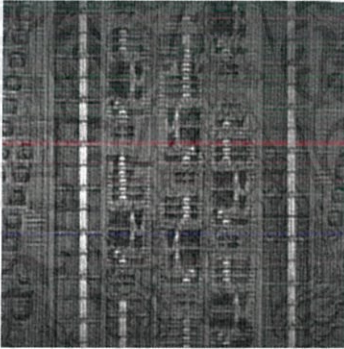
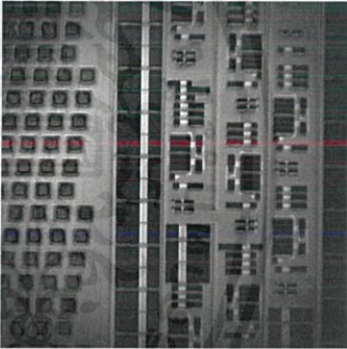


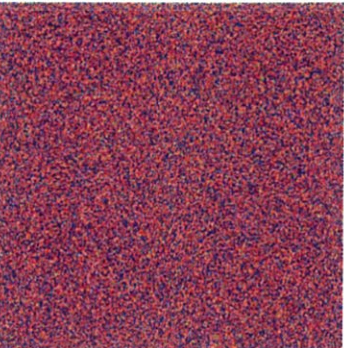
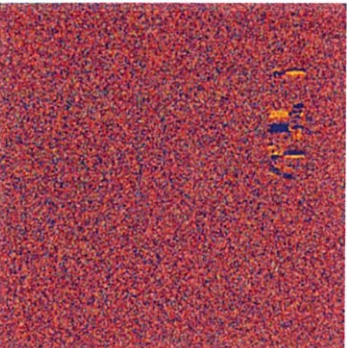
### 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบ

การเปรียบเทียบผลการทดสอบจากการทำ IR Inspection และ EOFM เพื่อให้เห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดจึงกำหนดให้



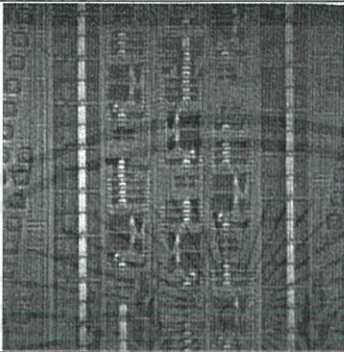
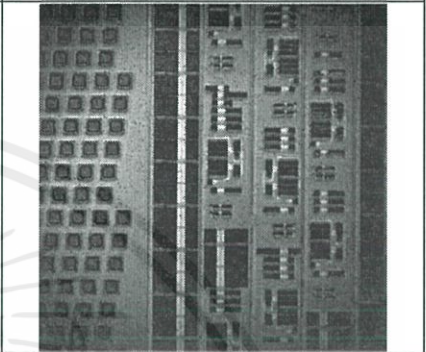
1. เปรียบเทียบผลระหว่างก่อนปรับและหลังปรับแผ่นเอียงปรับระดับอัตโนมัติ เมื่อใช้ SIL Lens

#### 4.3.1 การเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage) และไม่ใช่แผ่นปรับระดับ เมื่อทำ IR Inspection และ EOFM ร่วมกับ SIL Lens

ตารางที่ 4.5 : ผลเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้แผ่นปรับระดับอัตโนมัติ (Automatic Tilt Stage) และไม่ใช่แผ่นปรับระดับ

การทดสอบ	ก่อนปรับ Tilt Stage	หลังปรับ Tilt Stage
IR Image		
Amplitude Image		
Phase Image		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>QI Image (Amplitude + Phase)</p>		
<p>SuperImpose Image (QI + IR Image)</p>		



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบแผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) ด้วยการทำให้ IR Inspection และ EOP/EOFM บนตัวงานที่มีความลาดเอียงด้วยเครื่อง Hamamatsu PHEMOS – 1000 พบว่าเมื่อนำตัวงานที่มีความลาดเอียงมาทำ EOP/EOFM ด้วย SIL Lens พบว่าไม่สามารถตรวจการทำงานของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้ และได้ภาพ IR ที่มีคุณภาพต่ำ ไม่สามารถแยกแยะอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีขนาดเล็กได้ ต่อเมื่อนำแผ่นปรับระดับมาปรับระดับขดเชยมุมกระทำระหว่างตัวงานที่เอียงกับหน้าสัมผัสของ SIL Lens พบว่าในส่วนของการทำ EOP สามารถตรวจจับสัญญาณที่ Switching อยู่ภายในตัวงานได้ และในส่วนของการทำ EOVM ระบบสามารถตรวจจับสัญญาณการทำงานจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี ให้จุด spot ที่มีขนาดเล็กและแม่นยำ และยังได้ภาพจากการทำ IR Inspection ที่คมชัดมีคุณภาพสูงสามารถแยกแยะอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีเล็กได้ ดังนั้นแผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) มีส่วนช่วยในการทำ IR Inspection และ EOP/EOFM ด้วย SIL Lens ให้ดียิ่งขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขณะนี้ระบบของแผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) เป็นระบบเปิด (Open loop system) เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบกลับ(Feedback Devices) อาทิเช่น อุปกรณ์วัดระยะการเคลื่อนที่, สวิตซ์จำกัดการเคลื่อนที่ เป็นต้น ดังนั้นในขั้นต่อไปของแผ่นเอียงปรับระดับ(Tilt Stage) ควรมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจสอบกลับ(Feedback Devices) เพื่อให้ระบบของแผ่นเอียงปรับระดับ(Tilt Stage) มีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น

แผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) ในขณะนี้รองรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์บางชนิดเท่านั้นเช่น Socket Holder สำหรับตัวงานที่ต้องการทดสอบ ซึ่งในอนาคตอันใกล้แผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) จำเป็นต้องรองรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่เช่น Digital Tester Board ที่มีขนาดและน้ำหนักที่มาก ดังนั้นในขั้นต่อไปของแผ่นปรับระดับ(Tilt Stage) จำเป็นต้องออกแบบให้รองรับการทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ได้

## บรรณานุกรม

Damrong Korbsrisawat, Nutthapon Jundee, PQC Bangkok, [NXP Internal Drive].  
Y:\06\_FA\_Library\03 Training Material\EOP\05. PAPERS

Siripron k., PQC Bangkok, [NXP Internal Drive]. Y:\06\_FA\_Library\03 Training  
Material\PEM\PEM\_training\_for L1 technicians 18-Oct-13

Siripron k., PQC Bangkok, [NXP Internal Drive]. Y:\06\_FA\_Library\03 Training  
Material\OBIRCH





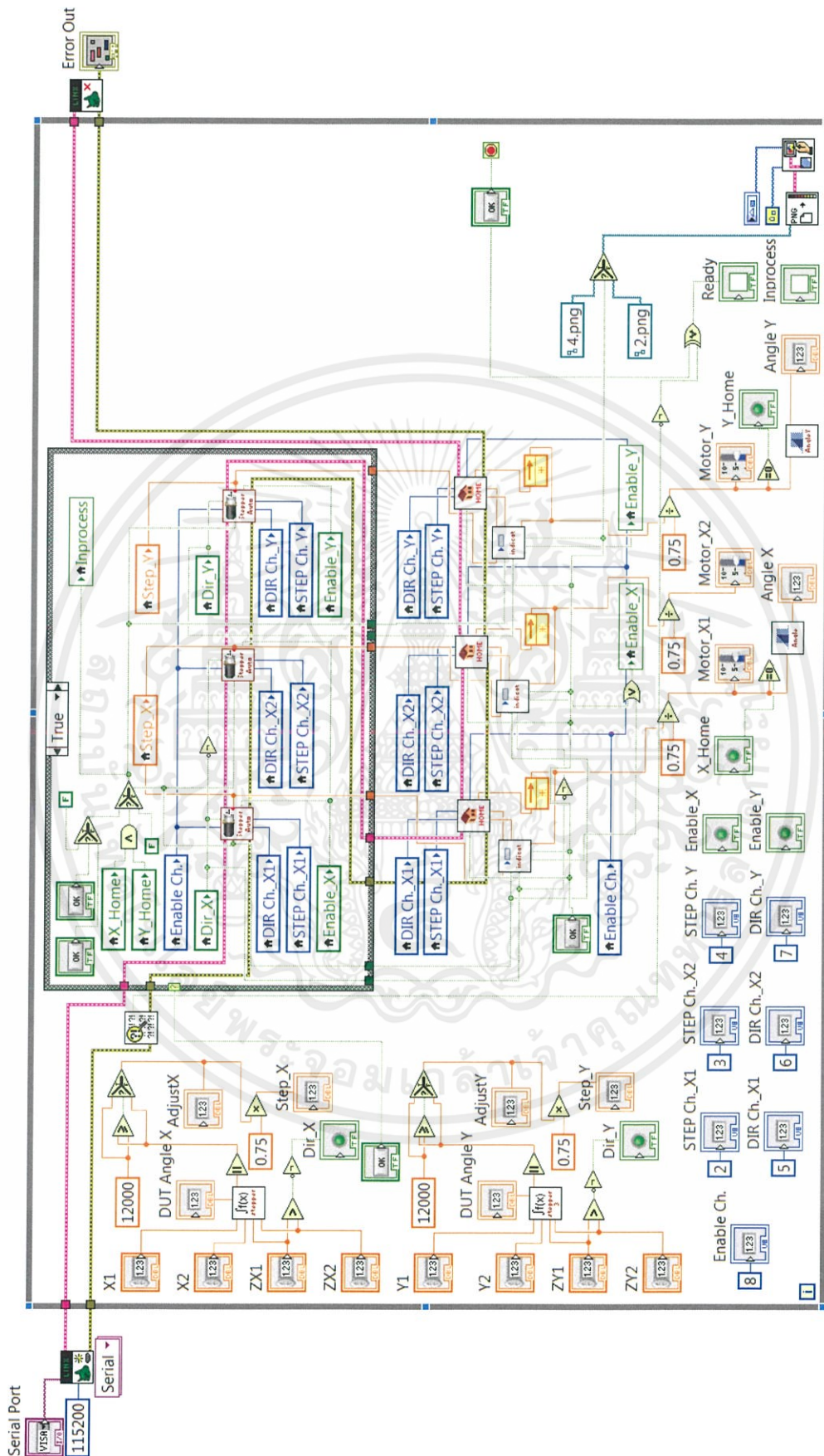
# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The screenshot displays a CNC control software interface with the following components:

- Auto Mode (Top Left):** A grid of input fields for coordinates: X1 (15923.1), X2 (17266), Y1 (3849.3), Y2 (5721.7), ZX1 (27688), ZX2 (27680), ZY1 (27544.8), and ZY2 (27580.3). It also includes DUT Angle X (-0.341322), AdjustX (953.144), DUT Angle Y (1.08618), and AdjustY (3980.81). A "Run Auto" button is present.
- Manual Mode (Top Right):** A set of directional buttons for X (X++, X+, X-, X--) and Y (Y++, Y+, Y-, Y--). It also features "Auto Mode", "Home", and "STOP Program" buttons.
- Diagram (Middle Left):** A schematic of a die with axes labeled X1, X2, Y1, and Y2. The die is labeled "DIE Backside".
- Status Panel (Bottom Left):** Includes a "Serial Port" dropdown set to "COM3", "Ready" (green indicator), "Inprocess" (orange indicator), "Error Out" (green indicator), and "status code" (d0) and "source" fields.
- Motor Control (Bottom Right):** Three motor position sliders for "Motor\_X1", "Motor\_X2", and "Motor\_Y", each ranging from -12000 to 12000. Below them are "Angle X" and "Angle Y" input fields, both set to -0, and "Enable\_X\_home" and "Enable\_Y\_home" indicators.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Micrometer head

**Mitutoyo**

**Microm. Head, Spindle Feed**

**0,25mm/rev**

**0-13mm, Clamp Nut, Spherical Spindle**

Item number: 148-133



**Description**

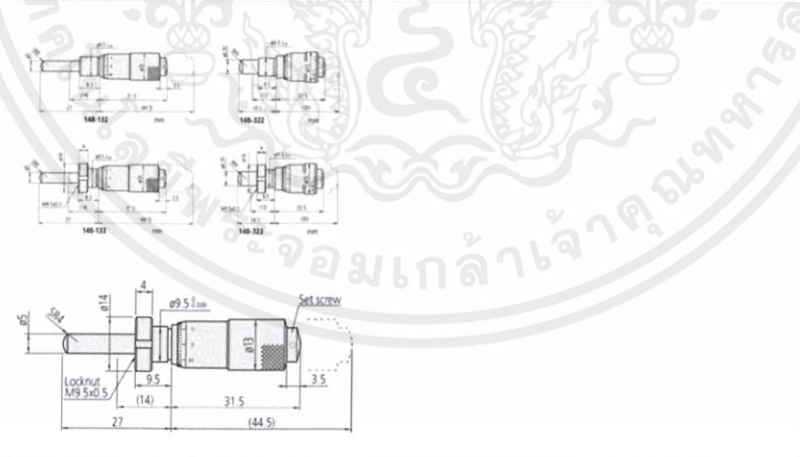
These micrometer heads are a standard, small-sized type with a 13mm measuring range. They offer the following benefits:

- Carbide-tipped spindle
- The small micrometer head gives you a 15mm measuring range and a tungsten carbide measuring surface.

**Features**

Range:	0 - 13 mm
Spindle end:	Spherical (SR4)
Stem Ø:	9,5 mm
Stem:	w/ clamp nut
Fixture thickness for clamp nut:	6 mm
Mass:	35 g
Graduation:	0,01 mm
Spindle pitch:	0,25 mm
Measuring surfaces:	Hardened steel (> 60 HRC)
Digital/Analog:	Analog
Accuracy:	±2 µm
Inch-Metric:	Metric

**Dimensions**



- Stepper Motor



Product Datasheet

ENGLISH

## High Torque Hybrid Stepper Motor



Model		42SH33-1AM	42SH33-2AM	42SH33-3AM	42SH33-4AM
1 RATED VOLTAGE	V	4	6	12	2,8
2 CURRENT/PHASE	A	0,95	0,6	0,31	1,33
3 RESISTANCE/PHASE	$\Omega$	4,2	10	38,5	2,1
4 INDUCTANCE/PHASE	mH	4	9,5	33	4,2
5 HOLDING TORQUE	Nm	0,158	0,158	0,158	0,22
6 ROTOR INERTIA	g-cm <sup>2</sup>	35	35	35	35
7 WEIGHT	Kg	0,22	0,22	0,22	0,22
8 NUMBER OF LEADS	N°	6	6	6	4

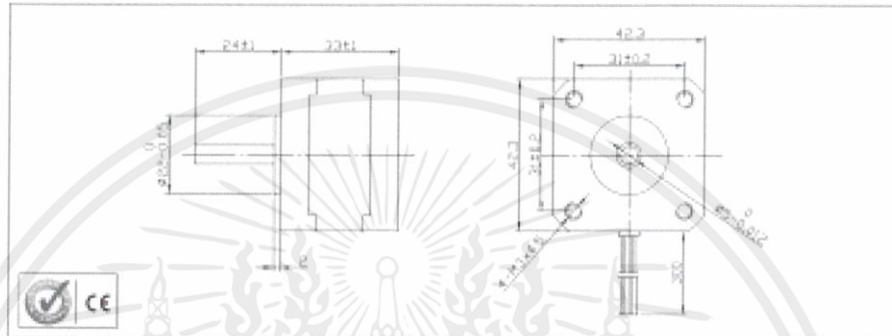
RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Stepper Motor Specification

ENGLISH



### Characteristics

STEP ANGLE  
1.8°

STEP ANGLE ACCURACY  
± 5%

INSULATION CLASS  
B

AMBIENT TEMPERATURE  
-20°C +50°C

TEMP. RISE  
80°C MAX (RATED CURRENT, 2 PHASE ON)

INSULATION RESISTANCE  
100 M OHM MIN. 500 VDC

DIELECTRIC STRENGTH  
500 VAC FOR ONE MINUTE

SHAFT RADIAL PLAY  
0.12 MAX (450 G LOAD)

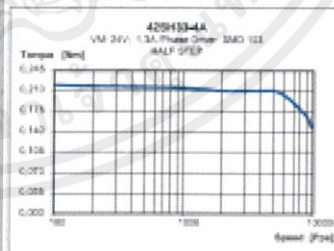
SHAFT AXIAL PLAY  
0.08 MAX. (450 G LOAD)

MAX RADIAL FORCE  
28 N (20 MM FROM FRONT FLANGE)

MAX AXIAL FORCE  
10 N

### Connection

LEAD N°	COLOR	GAUGE	FUNCTION
1	Black	UL1430 AWG26	Phase A
2	Green	UL1430 AWG26	Phase A
3	Red	UL1430 AWG26	Phase B
4	Blue	UL1430 AWG26	Phase B
UNIPOLAR MOTION			
5	Yellow	UL1430 AWG26	COM Phase A
6	White	UL1430 AWG26	COM Phase B



RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้